المجلة العربية للعلوم الجيولوجية
Arabian Journal of Geosciences

جامعة الملك سعود
King Saud University

الجمعية السعودية لعلوم الأرض
Saudi Society for Geosciences

الجيولوجيا العامة
General Geology



أ. د./ عبد الله بن محمد العمري

أستاذ الجيوفيزياء

كلية العلوم- جامعة الملك سعود- الرياض

أ.د./عادل كامل محمد

أستاذ الجيوفيزياء

كلية العلوم-جامعة المنصورة - مصر



الطبعة الأولى

1442هـ / 2020م

ح عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤١هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري، عبد الله محمد سعيد
الجيولوجيا العامة./ عبد الله محمد سعيد العمري، عادل كامل محمد
(مؤلف مشارك). -الرياض، ١٤٤١هـ
٤٩٦ ص ؛ ٢١ × ٢٧ سم
ردمك: ٢- ٤٨١٥ - ٠٣ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١- الجيولوجيا العامة　　أ- العنوان
ديوي ٥٥٠　　١٤٤١/١٢٣٤٩

رقم الإيداع ١٤٤١/١٢٣٤٩
ردمك: ٢- ٤٨١٥ - ٠٣-٦٠٣ - ٩٧٨

الطبعة الأولى
١٤٤٢هـ / ٢٠٢٠م




بسم الله الرحمن الرحيم





المحتويات



الفصل الخامس

نشأة الأرض

















شكر وتقدير

الحمـد والشـكر لله الذي سـاعدنا في انجاز هـذا المجهود المتواضـع المرتبط بعلم الجيولوجيا ونأمـل أن يكون مرجعا مفيدا لأبنائنا طلاب الجامعات العربية المهتمين بشتى علوم الأرض. نتقدم بخالص الشـكر والامتنان للجمعية السـعودية لعلـوم الأرض وللمجلة العربية للعلـوم الجيولوجية AJGS علـى دعمهمـا فـي طباعة هـذا الكتـاب، والشـكر موصول لـكل من سـاهم فـي مراجعة وإخـراج هـذا الكتـاب. ونخص بالشكر أ.د. يسـري مصطفى من جامعة المنصورة والزملاء من قسـم الجيولوجيا والجيوفيزياء بجامعة الملك سـعود أ.د. عبدالعزيـز اللعبون و د. محمد الدباغ و د. صالح قيسـي و د. حابس غريفات و د. حسين الفيفي و د. بسام أبو عمارة و د. عمر اللافوزا و الاستاذ سعيد الشلتوني.







مقـــــــدمة

علم الجيولوجيا هو العلم الذي يختص بدراسة كوكب الأرض ومكوناته الصلبة والسائلة والغازية والظواهر التي ينشأ بعضها نتيجة التقاء وتلاحم تلك المكونات. كما يهدف إلى الاستفادة من مكونات الأرض وظواهرها الطبيعية وذلك من أجل خدمة الإنسان وراحته وتحسين البيئة التي يعيش فيها. وبمفهوم أوسع فإن علم الجيولوجيا يقدم الوسائل لدراسة تركيب وتكوين باطن الأرض. يعتبر علم الجيولوجيا الفيزيائية أحد فروع الجيولوجيا الذي يدرس مواد الأرض والتغيرات التي تعتري باطن الأرض وسطحها والقوى التي تسبب هذه التغيرات من حدوث تشوه في صخور القشرة الأرضية ونواتجها وهو ما تم التركيز عليه أساسا في معظم أجزاء هذا الكتاب.

تم استخدام أسلوب التسلسل التصاعدي للموضوعات التي تم تناولها في هذا الكتاب، حيث يبدأ هذا الكتاب بوصف مختصر عن علم الجيولوجيا وأفرعها المختلفة، وتاريخ علم الأرض ووضعها في الكون والمجموعة الشمسية والنظريات التي تفسر تكون الأرض. يهتم الفصل الثاني بتركيب الأرض ومكوناتها. يناقش الفصل الثالث علم المعادن من خلال دراسة طرق تكونها وتصنيفها وخواصها الفيزيائية. يتناول الفصل الرابع علم الصخور

ودورتها وتقسيمها وخصائصها المختلفة ووصف لبعض الأنواع المختلفة للصخور. يهتم الفصل الخامس بمناقشة تشوه صخور القشرة الأرضية والانجراف القاري وشواهده ونظرية الألواح التكتونية. يبدأ الفصل السادس بشرح مختصرة عن إحدى نواتج التشوه الأرضي وهما علمي الزلازل والبراكين. يهتم الفصل السابع بمفهوم علم المياه الجوفية والدورة المائية وأصل تكون المياه الأرضية والتطرق إلى طبيعة وخصائص وأنواع الخزانات الأرضية لينتهي هذا الفصل بملوثات المياه الأرضية وكيفية التغلب عليها. يلي هذا الفصل شرح تفصيلي عن مفهوم البترول ونشأته والأنظمة البترولية وكيفية البحث عن البترول كما هو واضح في الفصل الثامن. يتناول الفصل التاسع شرح مبسط للتقنيات الجيوفيزيائية والجيوكيميائية وتطبيقاتها جيولوجيا وبيئيا.

يوضح هذا الكتاب تقنية الاستشعار عن بعد وأهميتها مع نظم المعلومات الجغرافية والتي تعتبر لها دور هام وأساسي في علم الجيولوجيا في الوقت الحالي، لذا تم اعطاء المفاهيم الأساسية لها وتطبيقاتها في الفصل العاشر. الخرائط الطبوغرافية الكنتورية هي أحد الوسائل الرئيسية لعلم الجيولوجيا والتي تتمثل في دراسة شكل سطح الأرض وما عليه من ظواهر طبوغرافية وتمثيل مكاشف طبقات الأرض المختلفة سواء الأفقية والمائلة والمطوية والمتصدعة على الخرائط الطبوغرافية الكنتورية ليسهل من دراسة ووصف التراكيب الجيولوجية وهو ما تم التركيز عليه في الفصلين الحادي عشر والثاني عشر.

واختتم الكتاب بحلول المئات من الأسئلة والمصطلحات في شتى علوم الأرض تسهيلا لطلاب الجامعات. وهذا ما أثرى منه وجعله مرجع مفيد للطلاب ان شاء الله.



الفصل الأول

وضع الأرض في الكون
Position of the Earth in the Universe

1-1 مقدمة

علم الجيولوجيا هو العلم الذي يبحث في تكوين الأرض وتاريخها، والتغيرات التي تحدث على سطحها وبداخلها والقوى المؤثرة عليها وأسبابها التي تحدث على سطحها وبداخلها خلال الأزمنة الجيولوجية المتعاقبة، وتاريخ نشأة الحياة فيها. كلمة جيولوجيا هي كلمة معربة مشتقة من اللغة اليونانية وهي من مقطعين الأول (الأرض = Geo) والثاني (علم = Logos) ومعناها علم الأرض، وعليه فإن كلمة جيولوجيا تعنى علم الأرض.

ولقد تم تقسيم علم الجيولوجيا إلى قسمين هما:

A- الجيولوجيا الطبيعية (الفيزيائية) Physical Geology

يعنى هذا القسم بدراسة مكونات وطبيعة الأرض وتركيبها، والحركات التي تحدث على سطحها وبداخلها وخواص وتوزيع المواد المكونة للأرض والطرق التي تكونت بها تلك المواد



وأسلوب تغييرها ونقلها، وتشمل كذلك دراسة تكون سطح الأرض والعمليات التي تؤدى إلى تكوين تضاريس القشرة الأرضية بما فيها من قارات ومحيطات، وهده العمليات هي عمليات خارجية تؤدى إلى هدم التضاريس بفعل عوامل تسمى التعرية والتجوية وعمليات داخلية تؤدى إلى إعادة بناء التضاريس بفعل الحركات الأرضية.

B- الجيولوجيا التاريخية Historical Geology

تشمل الجيولوجيا التاريخية دراسة التغيرات الفيزيائية والكيميائية والحياتية التي حدثت للأرض عبر الأزمنة الجيولوجية المتعاقبة وكذلك من ناحية توزيع المياه ومناطق اليابسة منذ أول نشوء الأرض أي قبل ما يقرب من 4.6 بليون سنة وحتى الآن مع دراسة علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية والكون. كما يعنى هذا القسم بدراسة آثار وبقايا الحياة القديمة على الأرض منذ نشأة الحياة عليها قبل حوالي بليوني سنة وإلى الوقت الحاضر.

2-1 فروع علم الأرض

تتواجد أنواع عديدة من أفرع الجيولوجيا يختص كل فرع بدراسات مختلفة عن الأفرع الأخرى. من بين هذه الأفرع التالي:

A- الجيوكيمياء Geochemistry

يختص هذا الفرع بدراسة الخواص الكيميائية للمعادن والصخور المكونة للأرض وكذلك التأثيرات الكيميائية للمياه والغلاف الجوي.

B- الجيوفيزياء Geophysics

يشمل هذا العلم تطبيق النظريات الفيزيائية والرياضية في دراسة باطن الأرض، حيث يمكن اعتباره جزءً من الفيزياء التجريبية على الأرض وغلافها الجوي والمائي، ومن الأمثلة على ذلك دراسة المغناطيسية والجاذبية وعلم الزلازل.



C- علم المعادن Mineralogy

يختص هـذا العلم بدراسـة طرق تكـون المعـادن في الطبيعـة وتركيبها وخصائصـها الكيميائية والطبيعية وتصنيفها وطرق الكشف عنها وفوائدها.

D- علم البلورات Crystallography

يحتوي هذا العلم على دراسة التنظيم الذري الداخلي لبلورات المعادن وبلورات المواد غير المعدنية، ويمكن اعتبار هذا العلم جزء من علم المعادن.

E- علم البراكين Volcanology

يعني هذا الفرع دراسة كافة المظاهر البركانية وإعطاء معلومات عن باطن الأرض.

F- علم المحيطات Oceanography

يقـوم هذا العلـم بالربط بـين جميع الدراسـات المتعلقـة بالبحار والمحيطات كدراسـة حدودها وتضاريسـها وعن الرسوبيات والصخور التي تكون قيعانها، ودراسة فيزياء وكيمياء مياه البحر وأنواع تيارات وأحياء المحيطات.

G- علم الأحافير Paleontology

يهتم هذا العلم بدراسة الأحياء القديمة في مختلف العصور الجيولوجية وتطورها وذلك بالاعتماد على بقاياها أو آثارها في الصخور، ويشمل هذا العلم أيضاً دراسة البيئات القديمة والمناخ القديم، ويقسـم هذا العلم إلى نوعين هما علم الحفريات النباتية ويختص بالنباتات وعلم الحفريات الحيوانية ويختص بالحيوانات.

H- علم الصخور Petrology

يشـمل هذا العلم دراسـة منظمة للصخور من حيث خواصـها ونشأتها وتركيبها المعدني وحالتها الحاضرة وتغيرها وتفتتها، ويضم هذا العلم فرعاً يختص بمنشئها ويطلق عليه علم نشأة الصخور (Petrogenesis) وفرعاً آخر يطلق عليه وصف الصخور (Petrography) ويختص بوصف وتشخيص أنواعها وتقسيمها بطرق الفحص المجهري.

I- علم الطبقات Stratigraphy

يدرس هذا العلم تصنيف طبقات الأرض المتكونة من صخور طبقية من حيث صفاتها الصخرية ومحتوياتها الحفرية وتاريخ وظروف تكوينها ومضاهاة الصخور المتطابقة التي تكون أجزاء من القشرة الأرضية.

J- الجيولوجيا التركيبية Structural Geology

يعني هذا العلم بدراسة موضع الصخور في القشرة الأرضية الواحدة بالنسبة للأخرى والتوزيع الجغرافي لمظاهرها مع أسباب تكون تلك المظاهر والتراكيب الجيولوجية الناتجة عن الحركات الأرضية. ويشمل هذا العلم وصف وتصنيف هذه التراكيب ودراسة نشأتها.

K- علم الرسوبيات Sedimentology

يهتم علم الرسوبيات بدراسة العوامل المسببة لتكوين الصخور الرسوبية من ضمنها منشأ الصخور ونقلها وترسب المواد المكونة لها وتغيرها أثناء وبعد ترسبها وحين تصلبها.

L- الجيولوجيا الهندسية Engineering Geology

يكمن دراسة هذا العلم في استخدام المعلومات الجيولوجية للأغراض الهندسية كبناء السدود والخزانات والطرق الرئيسية والجسور، والأنفاق ومشاريع الري وأي عملية بناء هندسية ضخمة.

M- جيولوجيا التعدين أو جيولوجيا المناجم Mining Geology

يختص هذا العلم بتطبيق المعلومات الجيولوجية بغرض استغلال مصادر خامات المعادن الفلزية واللافلزية.



N- جيولوجية النفط Petroleum Geology

يهتم هذا الفرع بدراسة الطرق المتبعة في التنقيب عن النفط، وكذلك دراسة طرق نشوء وحركة وتجمع النفط والغاز الطبيعي وتحديد مواقع وجودهما في الصخور وطرق الكشف عنها.

O- الجيولوجيا الاقتصادية Economic Geology

تختص الجيولوجيا الاقتصادية بدراسة طرق استكشاف المعادن ذات الفائدة الاقتصادية ويمكن اعتبار فرعي جيولوجيا النفط وجيولوجيا التعدين جزءً من الجيولوجيا الاقتصادية.

P- علم الجيوديسيا Geodesy

يهتم هذا العلم بدراسة مقاييس شكل الأرض وأبعادها وزحزحتها والذي من خلاله يمكن دراسة ومتابعة الحركات التكتونية التي تحدث للقشرة الأرضية، ويعتمد هذا الفرع أساسا على الرياضيات التطبيقية.

Q- علم المياه Hydrology & Hydrogeology

يتضمن هذا العلم الطرق المتبعة للبحث عن المياه الجوفية ودراسة الأجسام المائية السطحية وتحت السطحية للاستفادة منها. ويعتمد هذا العلم على علم الطبقات والصخور الرسوبية والجيولوجيا التركيبية والجيومورفولوجيا والكيمياء.

R- علم الجيومورفولوجيا أو علم شكل الأرض Geomorphology

يهتم هذا العلم بدراسة الشكل العام للأرض وتضاريسها من ناحية منشأها وتطورها.

S- الجيولوجية البيئية Environmental Geology

اكتسب هذا الفرع من علوم الجيولوجيا أهمية كبرى مؤخراً وذلك نظراً لما للجيولوجيا من أثر في تفهم أسباب التلوث البيئي وسبل الحد منه ومن المخاطر الجيولوجية الأخرى.

3-1 تاريخ علم الأرض History of Earth

الأرض؛ هذا الكوكب المتميز الذي حيَّر العلماء بموقعه بين كواكب السماء عمومًا، وكواكب المجموعة الشمسية خصوصًا؛ حيث بدأ التفكير في الظواهرِ الطبيعية منذُ أن وطئ الإنسان بقدميه سطح الأرض، فقد فطنَ إلى المغاراتِ والكهوفِ لحمايته من قسوةِ البيئة، ومن الحيوانات الكاسرة، فكانت نظرتُه الأولى إلى الصخور والقطع الحجرية المترامية، وبعدَ أن توصل إلى صلابتها هَداه التفكيرُ إلى استغلالها في صناعةِ الأدواتِ الزراعية، أو بعضِ الأسلحة البُدائية، وأخيرًا في توليد الشرارات النارية عن طريقِ احتكاكِ القطع الصخرية، وبعدَ أن توصَّل إلى النارِ تطوَّرت أساليبه في اكتشافِ المعادنِ وصَهرها لاستخدام الفلزَّات. وهكذا قسَّم علماءُ التاريخ عصورَ الإنسان؛ تبعًا لمهارته، وكيفية استغلالها؛ فهناكَ العصر الحجري، والعصر النحاسي، والعصر البرونزي.

وتلعب الجيولوجيا (علوم الأرض) دورًا هامًّا في معظم ميادين الحياة الاقتصادية؛ حيث تعتمد تنمية المجتمعات على تطبيقات فروع هذا العلم في مجالات الحياة المختلفة، وأصبح يُسهِم في خدمات عديدة، نوجز بعضها فيما يلي:

- البحث عن مصادر الطاقة؛ كالبترول والغاز الطبيعي، والفحم والمواد النووية، والعمل على استخراجها واستغلالها.
- الكشف عن خامات المعادن، والتوسع في إنتاج الخامات المعدنية المختلفة.
- استكشاف المياه الجوفية كتدبير مصادرَ إضافية لمياه الريِّ والشرب.
- المساهمة في حماية البيئة.
- اختبار مدى صلاحية المواقع المختارة لإقامة المشروعات الهندسية العملاقة؛ كالسدود والجسور والأنفاق، والأبنية الضخمة والأبراج والمدن.
- بالإضافة إلى تيسير الحصول على مواد البناء والتشييد لمشروعات الإنشاء والتعمير.



يعـود تاريخ الجيولوجيا إلى حوالي أكثر من ألف سـنة قبل الميلاد؛ حيث اعتبَر البابليون مَنشَـأ العالم (الأرض) من الماء، كما أوردَت الأسـاطير المصـرية نصًّـا يشـير إلى أن الماء (المحيـط) هو أصـل العالم منذ نشـأة البدايات الأولى لعلوم الأرض، كان الشـغل الشـاغل للمهتمـين بهذه العلوم هـو التفكيرَ في الطبيعة والظواهر الأرضـية، لكن هـذه البدايات كان يغلـب عليهـا الخلط بينها وبـين الخرافات والأسـاطير منذ عصـور ما قبـل التاريخ. وكان حوض البحر المتوسـط منطقة نموذجية لملاحظـة ظاهرتين؛ هما الـزلازل والبراكين، وما يصـاحبهما من تغيرات سـريعة وواضـحة على سـطح الأرض. وكان الإغريق هـم أول من أثَّر في العالم الحديث بالنظريات الجيولوجية الواضـحة المحدَّدة؛ حيث إن سـمة الحضـارة الإغريقيـة الفلسـفةُ التأمليـة فيمـا وراء الطبيعـة (ميتافيزيقيـا)، فلقـد كان هوميروس (900 ق. م) أولَ من أشـار إلى شـكل الأرض ووصَـفها على أنها قرصٌ مسطَّح محاط بمياه (البحر – المحيط)، وفي القرنين الخامس والسادس قبل الميلاد بدأ بعض الفلاسفة الإغريق يسجِّلون ملاحظاتهم عن الكثير من الظواهر الطبيعية من تجوية ونحتٍّ وترسيب، وتقلبات جويَّـة، وثـورات بركانيـة، وكانت أولى النظريات الفلسـفية لاسـتنتاج شـكل الأرض نظرية المدرسـة الفيثاغورثيَّة Pythagorcians، الذين وضعوا النظرية الكرويَّة للأرض لأول مرة؛ لأن الكرة هي أكمل الأشكال الهندسية وأكثرُها صلابة وتماسكًا.

أمـا المؤرخ هيرودوتس (485 - 425 ق.م) Herodotus، فكانت كتاباته تحوي معلومات تخص شـكل الأرض، وهو أول من فسَّـر وجود بقايـا محارات وهيـاكلَ لحيوانات بحرية في الجبال، وأشار بأن الجبال كانت يومًا ما قيعانًا للبحار، وأشار إلى أصل الطمي والغرين التي تحملها الأنهار وترسُّـباتها كل عام، ومن أقواله المشـهورة: "مصـر هبة النيـل". أما أرسطو (280 – 322 ق.م) Aristotales، فهو أول من أشـار إلى شكل الأرض ووضعها؛ حيث أثبتَ كروية الأرض بطرقٍ علمية صحيحة.

أما الرومان، فكانوا أكثرَ واقعية وأقلَّ تفلسُفًا من الإغريق، فأهمَلوا الظواهر الطبيعية التي كانت حولهم، فمثلاً العالم الجغرافي في سترابون (54 ق.م – 52 م) الإغريقي الأصل، واللاتيني المنشأ، كتب عن الهزَّات الأرضية، كما أنه كان أول من ذكَر جبل فيزوف البركاني، علمًا أن الجبل كان هادئًا في زمن سترابون، وأن انفجاره عام (79م) كان سببًا في إفناء مدينة بومبي جنوب إيطاليا، وتدور بعض الأفكار الجيولوجية الأولى حول نشأة الأرض، وقد طورت اليونان القديمة بعضَ المفاهيم الجيولوجية الأساسية المتعلقة بنشأة الأرض.

إضافةً إلى ذلك سجَّل أرسطو في القرن الرابع قبل الميلاد ملاحظات هامةً عن بُطء وتيرة التغير الجيولوجي؛ فقد رصَد تكوين الأرض، وصاغ نظريةً تشير إلى أن الأرض تتغير ببطيء، وأن هذه التغيرات لا يمكن للإنسان ملاحظتُها على مدار حياته كلها.ووضع أرسطو أول المفاهيم القائمة على الإثباتات المرتبطة بعالم الجيولوجيا فيما يتعلق بمعدل تغير طبيعة الأرض، ومع ذلك فالفضل يرجع إلى خليفته في معهد الليسيوم، الفيلسوف ثيوفراستوس (372 – 288 ق.م) الذي حقَّق تقدمًا كبيرًا في العصور القديمة في كتابه عن الأحجار؛ فقد وصف الكثير من المعادن والخامات، وكلها من المناجم المحلية؛ مثل مناجم منطقة لافريو قرب أثينا وغيرها، كما ناقش بطبيعة الحال أنواعَ الرخام وموادَّ البناء؛ مثل الحجر الجيري، وحاول عمل تصنيف بُدائي للمعادن؛ بحسب خصائصهَ مثل الصلادة.

بعد ذلك بكثير وفي العصر الروماني، قدَّم بلينيوس الأكبر (23 - 79 م) تفصيلاً لمعادنَ وموادَّ أخرى كثيرة استُخدمت على نطاق واسع في الأغراض العملية، وكان من بين أوائل مَن قدموا تفسيرًا صحيحًا لنشأة الكهرمان الذي يعدُّ من الراتنجات المستحثة المأخوذة من الأشجار بمراقبة الحشرات المحبوسة في أجزاء منها، ووضع كذلك أساس علم البلَّورات من خلال التعرُّف على التركيب ثُماني السطوح للماس.

وبلاد اليونان كانت حضارتهم نظريَّة ومنقولة عن حضارات بلادِ ما بين النَّهرين (سوريا والعراق)، وقدماء المصريين؛ حيث جاب فلاسفتُهم العالم القديم؛ ليطلعوا على علومه وحضاراته، والنظر إلى طبيعة مادة الأرض، أما الفيلسوف الإغريقي طاليس (606 -



546 ق.م) Thales وتابِعوه، فقالوا: إن الأرض قرص يطفو فوق الماء، وتدور في دائرة ولا تدور حول الشمس، ولكن تدور حول كرةِ نار مركزية، وهي مركز الكون.

وقال بعده الفيلسوف الإغريقي فيثاغورس Pythagoras: إن الأرض كروية، ومنذ 2000 سنة قال الفيلسوف الإغريقي لوسيباس Leucippus وتلميذه ديموقريطيس Democritus: إن كل المواد مصنوعة من ذرَّات لا تنقسم.

واتبع فلاسفة الإغريق أسلوبَ العقلانية في التفكير، والسببية المنطقية لتعليل وتفسير كل شيء، وبعد قرنين من وفاة الفيلسوف الإغريقي أرسطو عام 322 ق.م، قام العالم الإغريقي إيراتوستينيس Eratosthenes بقياس محيط الأرض.

في عهد الإمبراطورية الرومانية (27 ق.م – 935 م) لم يكن هناك أيُّ اهتمام بالعلوم الطبيعية، وقد اعتبرها أكثرُ الرومان من أهواء الفكر الإغريقي، وممن يجدر ذكره العالم بليني عالم الطبيعيات الروماني في القرن الأول بعد الميلاد الذي خصَّص خمسةً من كتبه الثلاثة والسبعين لدراسة المعادن، ثم كانت العصور المظلمة (500 – 1100 م)، وفي هذه الفترة اختفَت مؤلفات الفلاسفة الإغريق في ظلمات هذا العصر في أوربا.

وقد أدى سقوط الإمبراطورية الرومانية إلى جمودٍ في العلوم عامةً لقرون عديدة في أوربا، عندئذ حمل العلماء العرب والمسلمون مِشعل العلم، وساهموا في نشأة وتطوير العديد من العلوم الطّبيعية، وأشرقت المعرفة من بلادِ المسلمين حيث مراكزُ الحضارة الإسلامية العظيمة والرخاءُ والعلوم، وقاموا بدور بارز في إرساء قواعد علم الجيولوجيا على أسس علمية؛ حيث بنَوا نظرياتهم على الفرضيات والملاحظة، والتفسير للظواهر الطبيعية.

وتطوَّر تاريخ علم الأرض – على الأغلب – في بداية القرن التاسع، وحتى القرن الحادي عشر الميلادي على يد علماء وروَّاد عصر الحضارة الإسلامية. ويعد ابن سينا (980 - 1038م) هو المؤسس الرئيسي للجيولوجيا عند العرب المسلمين. تناول ابن سينا كثيرًا من آرائه الجيولوجية في كتابه "الشفاء" في الجزء الذي سماه "المعادن والآثار العلوية". والبيروني الذي كان أحد العلماء الذين ازدهرت بهم الحضارة الإسلامية، والذي نبغ في علم المعادن والصخور في كتابه "الجماهر في معرفة الجواهر".

لقد تناولت كتاباتُ العرب فروعًا مختلفة للجيولوجيا، مثل: علم المعادن، علم الأحجار الكريمة، وعلم الصخور، كذلك كتَبوا في الجيولوجيا الطبيعية، علم البحار، وعلم الحفريات، وقاموا بعدد من عمليات المساحة الأرضية، ورسم الكثير من الخرائط التوضيحية، كما اهتم العرب بصناعة التعدين واستغلال الخامات، وكتاباتهم وإن كانت متفرقة ومنتشرة في عدد ضخم من المراجع والمجلدات تحت أسماء وعناوين مختلفة على مدى نحو ستة قرون من الزمان، إلا أنها في مجموعها تدل على فَهم واعٍ بأهم القواعد والمبادئ الرئيسية لعلوم الأحجار والأرض.

وقد ساهم في وضع هذا التراث الزاخر نفرٌ من عباقرة الإسلام، بل عباقرة العالم الأفذاذ، وإن كان كل منهم قد صال وجال في ميادينَ أخرى للعلوم، شأنهم في ذلك شأن علماء ذلك العصر؛ فقد كان تفوقهم في علوم الأرض على مستوى تفوقهم ونبوغهم في العلوم الأخرى، ومن بين هؤلاء الأعلام: الكندي، المسعودي، البيروني، ابن سينا، الإدريسي، ابن خلدون، ابن ماجد، ابن الشاطر... وآخرون، إلا أننا نعتبر هؤلاء المشاهير الذين ذكَرناهم مؤسِّسي علم الجيولوجيا عند العرب.

1-3-1 علم الجيولوجيا إبان عصر النهضة (القرن السابع عشر)

على الرغم من أنَّ العلم الذي نعرفه الآن لم يكن قد ظهَر بعد، فإن هذه الفترة قد شهدَت تقدُّمًا ملحوظًا في مجموعة متنوِّعة من المجالات؛ فمثلاً نجد أن الطبَّ قد تقدم كثيرًا من خلال المساهمات التي قدَّمها فيزيليوس ومعاصِروه في مجال التشريح؛ بالإضافة إلى الأفكار الجديدة التي قدمها فراكاستورو حول كيفية انتقال الأمراض.كما حدث تطور ملحوظ في علم الفلك؛ نتيجةً للنظريات التي وضَعها كوبرنيكس والتي أثبتت خطأَ الكثير من المفاهيم السابقة العتيقة التي تخص نظام الكون والنظريات الرياضية، كما وضع بارسيلسيوس قواعد الكيمياء الحديثة.ولقد وضع آجريقولا (Agricola) هذه القواعد في علم الجيولوجيا، كما يمكن أن يعتبر بدءُ شروق العلوم الجيولوجية الحديثة بنشر كتاب آجريقولا، الذي يحمل عنوان "De Nature Fossilium" في عام 1546م، ويعتبر هذا العالم مؤسِّس المعادن.



ومـن الذين بـرَّزوا في تلك الفترة الفنـان والعالم الإيطالي ليوناردو دافنشـي (Leonardo Davinci)، ولا يسـعنا إلا أن نقول: إن نفاذ البصـيرة التي كان يتمتَّع بها ليوناردو دافنشـي قد سـاهم في تطور العديد من المجالات. بدأت الحركة العلمية لعصـر النهضـة الأوربية في إيطاليا، ومنها انتشـرت شـمالاً، ويرجع الفضل في القضـاء على الكثير من خُرافات القرون الوسطى إلى دافنشي. وابتدأ التفكير الجديُّ في المسائل الجيولوجية في منتصف القرن السابع عشـر حينما قدَّم الطبيب الدنماركي الذي كان يعيش في مدينة فلورنسا في إيطاليا نيقولاس سـتينو Nicholaus Steno (1638 - 1686) أفـكاره فيمـا يتعلق بالجبال وتكوُّنها. وأيضًـا جيوفـاني أردوينـو (1714 - 1795) الـذي قسـم الجبـال إلى ثـلاث مجاميع، والصـخور المكونـة للأرض إلى أربعة أنواع، وتعتبر دراسـات أردوينو نقطة انتقـال مهمة في تطور علم الجيولوجيا.

2-3-1 علم الجيولوجيا في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر الميلادي

انتقـل مركز الأبحـاث الجيولوجية من إيطاليا إلى ألمانيـا وإنجلترا خلال القرن الثامن عشـر، في هذه الفترة ظهرَت مدرسـتان لهما الأثر الكبير في وَضع علم الجيولوجيا في موقعه الصـحيح هما: المدرسة النِّبتونية (المائية) (Neptunists)؛ سمِّيت نسبة إلى إله البحر نبتون Neptune عند قدماء الرومان، أسَّسها العالمُ الألماني فيرنر Werner الذي عزَى الظواهرَ الطبيعية وأصل صخور القشرة الأرضية (بما فيها النارية والمتحولة) والجبال إلى تأثير الماء فقط؛ حيث افترض وجودَ محيط أوَّلي كان يغلِّف الأرضَ كلَّها في بادئ الأمر، وأدَّت ترسبات هذا المحيط إلى تكوين القشـرة الأرضية، ثم انحسـر بعد ذلك إلى مواقعه الحالية وظهرت القارَّات.

المدرسـة البلوتونية "الباطنية" (Plutonis)؛ نسـبة إلى إلـه باطن الأرض عند الإغريق والرومـان بلوتو (Pluto)، أسسـها العالم الإسـكتلندي جيمس هـتن (James Hutton)، والذي فسـر فيهـا تكوُّن الجبال بواسـطة البراكـين والحـركات الناريَّة الجوفيـة، وقد قام هـتن بوضـع نظريـة الوتـيرة الواحـدة (Uniformitarianism)، التـي تنصُّ علـى: "أن



الحاضر مفتاح الماضي"، أي: إن جميع القُوى التي تعمل حاليًّا على سطح الأرض كانت كذلك تعمل دائمًا وباستمرار خلال جزء كبير من التاريخ الجيولوجي، وكان في ألمانيا عددٌ من الجيولوجيين البارزين مثل يوهان جوتلوب (١٧١٩–١٧٦٧) وبيترسيمون بالاس (1741 - 1811) الفرنسي الأصل الألماني الجنسية، وجورج كريستيان فوكسيل (1722 - 1776)، وقد أضافوا ملاحظات هامَّة لتقسيم الصخور الذي كان يتبعه العالم أردوينو.وبرز أيضًا العالم الألماني أبراهام فيرنر (1750-1817)، وقد طور فيرنر تقسيم أردوينو وأتباعه للصخور وكشف خمسة أنواع من الجبال.

وكان من أبرز الشخصيات الإسكتلندي جيمس هاتون (1726-1797) التي كانت ملاحظاته الأساس لنظرية الوتيرةِ الواحدة، وهذه النظريَّة فتحَت وعي العلماء لفهم تاريخ الأرض.والعالم الفرنسي جورج كوفييه (1769-1832) مؤسِّس تصنيف الفقريات والحفريات الفقرية، والعالم جان باتست دو لامارك (1744-1829) مؤسس علم الحفريات اللافقارية، كما ظهر المساح البريطاني وليم سميث (1769-1839) أول من فكَّر في استخدام الحفريات لمعرفة طبقات الأرض، كما تمكَّن الجيولوجيون خلال هذه الفترة (1822-1879) من ترتيب معظم صخور القشرة الأرضية الحاوية على الحفريات في عمود جيولوجي.

لقد شهد القرنُ التاسع عشر تطورًا كبيرًا؛ حيث قدر عمر الأرض ما بين مئات الآلاف ومئات الملايين من السنين، وفي الفلَك في عام 1801 لوحِظت المذنَّبات ومدار كوكب أَورانوس الشاذ؛ فلقد توقَّع الفلكيُّ الفرنسي جيان جوزيف ليفرييه Jean Joseph Leverrier أن كوكبًا مجاورًا لأورانوس يؤثِّر على مداره، وقد استخدم الحسابات الرياضية، وقد قام العالم الفلَكي الألماني جوهان جال Johann Galle في عام 1846 بمساعدة العالم ليفرييه باكتشاف كوكب نبتون، وكان الفلَكي الإيرلندي وليام بارسونز William Parsons أوَّل من شاهد شكل المجرَّات الحلزونية فيما وراء نظامنا الشمسي، عن طريق التلسكوب العاكس العملاق (وقتها) عام 1840.



3-3-1 علم الجيولوجيا في القرن العشرين

بمجرد استهلال القرن العشرين، زادَت سرعةُ التطور التكنولوجي الذي كان مزدهرًا بالفعل بصورة ملحوظة، وقد ظهرَت آثارُ هذا التطور التكنولوجي في كل منحًى من مناحي الحياة، ولم يشهد تاريخ البشرية كلُّه مثل هذه الفترة التي شهدَت تطورًا تكنولوجيًّا هائلاً. لقد وضع العلماءُ في القرن التاسع عشر مفهومَ العمود الجيولوجي؛ فلقد أدى التطوُّر في القرن العشرين إلى تطور وسائل تحليل ووصفِ الصخور المختلفة؛ فتطوُّر الكيمياء التحليلية واكتشاف العالم الألماني "رونتجن" في (1895م) للأشعة السِّينية ساهم في التعرُّف على الترتيب الداخلي للذرَّات في البلورات المكونة للمعادن، كما ساهم في زيادة فاعليَّة وسائل التنقيب عن المعادن الاقتصادية.أما اكتشاف العالم "بيكريل" (1895) الإشعاع الذرِّي لليورانيوم، فهذا مما ساهم في تقدير العمر المطلق للصخور.وظهرَت فرضية لمجموعة من العلماء الأمريكيين عام 1968م مفادها: أن الغلافَ الخارجي للأرض يتكوَّن من صفائح صلبة كبيرة، وهي في حركة مستمرة؛ وتُسمى هذه النظرية تكتونية الصفائح، وقد ساعدَت في تأكيد فكرة أن القارات تتحرك حول سطح الأرض (نظرية زَحْزحة القارات)، وهذه إحدى الأفكار الأكثر إثارة في عالم الجيولوجيا؛ لأنها تساعد في توضيح كثير من المعالم الجيولوجية؛ مثل ظهور الجبال، والبراكين، والزلازل.وتعتبر نظرية تكتونية الصفائح Plate tectonics بمثابة تطوير للنظرية القديمة عن الزَّحف القاري، ولها أهمية كبيرة؛ بحيث لا تقلُّ عن وضع العمود الجيولوجي في القرن التاسع عشر، واستكشاف الكواكب له تطورٌ جديد في علم الجيولوجيا لمعرفة تاريخ تكوُّن الكواكب الأخرى.

في 1846م بدأ المهندس الإيرلندي روبرت ماليت دراسة علمية للزلازل، وقد اكتشف كيفية قياس سرعة الذبذبات التي تنتج من انفجار بارود بندقية بالأرض، وقدَّم عالم الفيزياء الإنجليزي إرنست رذرفورد في عام 1903م فكرةً عن أن نِصف عمر المعادن المشعة يمكن استخدامه لقياس عمر المعادن؛ حيث نشر الجيولوجي الإسكتلندي أرثر هولمز عام 1915م مقالاً عن الإشعاعية وقياس العمر الجيولوجي، وقد كان هذا العمل الأول من بين العديد من

الأعمال التي تهتمُّ باستخدام المواد المشعة للتعرف على عمر الصخور.

ربما لم نكن سنعرف شيئًا عن تاريخ كوكبنا أو تطوُّر الحياة ما لم تكن هناك تلك الدَّلائل التي وُجدت في الصخور، فمنذ عهد ليوناردو دافنتشي (1517) افترض الباحثون أن الحفريات هي بقايا الكائنات الحيَّة التي كانت تعيش في الماضي، وقد انقرضَت الآن، بعد ذلك عرف الباحثون أن تسلسل الحفريات يعكس كيف تطورَت الحياة من البساطة إلى التعقيد؛ فقد اتضحَت كيفية انتشار الحياة وانحسارها عبر الزمن (1860)، وباكتشاف طريقة تحديد عمر الصخور وباستخدام الإشعاع (1921) استطعنا حسابَ عمر الأرض، كما يحدث غالبًا في تاريخ العلوم، استطاعت التقنيات الحديثة الإجابة عن الكثير من الأسئلة، وقد كان هناك اثنان من التقنيات الحديثة المهمة على وجه الخصوص مستخدمَين في هذا الصدد، وهما: طريقة لقياس نسبة النظائر العديدة للعناصر بالعيِّنة الصخرية، والأخرى هي عبارة عن طريقة لالتقاط صورٍ ثلاثية الأبعاد للتراكيب الصغيرة المختفية داخل الصخرة، وكان بإمكان الطريقة الأولى إظهار آثار الكاربون وقياس نسبة النظيرين الكربون 12 والكاربون 13، مما يدلُّ على وجود الحياة في هذه الفترة، أما الثانية فكان بإمكانها إظهار أشكال لبعض الخلايا الحيَّة التي كانت تعيش في يوم من الأيام.

أما في مجال الجيوفيزياء، فإن الأمر الأكثر أهمية بالنسبة للزلزال هو التعرف على شدة الزلزال، وعلى كمية الطاقة المنطلقة منه في مركزه وكمية الصخور التي تحركَت، لقد استطاع مقياس ريختر الذي أنشأه العالم الأمريكي تشارلز ريختر في عام 1935 التعرفَ على كل ذلك؛ ففي بداية الأمر تم تطبيق هذا المقياس على الزلازل الواقعة فقط جنوب ولاية كاليفورنيا بالقُرب من لوس أنجلوس؛ (حيث يكثر وقوع الزلازل)، وهو مكان عمل العالم ذلك الوقت، أما الآن، فقد تمَّ استعمال هذا المقياس في العالم كلِّه، وأصبح اسم العالم ريختَر جزءًا من لغتنا اليومية، إن هذا المقياس يعتبر مقياسًا لوغاريتميًّا؛ أي كل خطوة تعني زيادة عشرة أضعاف في حجم الطاقة المنبعثة.



4-1 الكون والمجموعة الشمسية The Universe & Sun Groups

يعتبر أصل الكون وتاريخ نشأته غير معروف تماما، كما إن البحث في هذا الموضوع ليس بالأمر الهين، وكل ما ذكر عن هذا الموضوع ليس فقط مجرد اجتهادات شخصية. وقد وضعت عدة فرضيات ونظريات كثيرة منذ ما يزيد عن قرن من الزمن لتفسير تكون الأرض وبقية الكواكب، وأهم هذه النظريات هي:

1- فرضية كانت:

أول من وضع أسس النظرية السديمية هو العالم الفلكي الألماني كانت (1724-1804)، وهى تمثل أول نظرية جادة حاولت أن تفسر اصل المجموعة الشمسية، حيث تتلخص هذه النظرية في أن المجموعة الشمسية كانت تتكون في بادئ أمرها من أجسام معتمة صلبة دقيقة الحجم تسبح في الفضاء بسرعة فائقة ثم بدأت هذه الأجسام بالتجمع حول بعضها بقوة الجذب فتصادم بعضها ببعض وتكونت نتيجة لتصادمها حرارة عالية أدت إلى تحولها إلى غازات متوهجة ثم أخذت هذه الغازات بالدوران حول نفسها فانفصلت منها كتل غازية تصلبت مكونة الكواكب السيارة وبقى الجزء الأوسط من السديم مكوناً الشمس.

2- فرضية لابلاس (فرضية تطور السديم الغازي):

أول من وضع أسس هذه النظرية التي تشرح تكون المجموعة السديمية هو العالم الرياضي الفرنسي لا بلاس (1749-1827)، ونظريته هذه تعتبر تطويراً لنظرية كانت، فقد افترض لا بلاس بأن جميع المواد المكونة حالياً للمجموعة الشمسية كانت في إحدى الفترات الماضية سديماً غازياً ذو دوران تدريجي وكان قطر هذا السديم يتجاوز حدود موقع الكوكب بلوتو، وخلال انخفاض درجات حرارة السديم بدأ يدور بسرعة أكبر حتى أصبحت القوة الطاردة من المركز إلى المحيط الخارجي مساوية لقوة الجذب الداخلية فانفصلت حلقة غازية من السديم بينما استمر الجزء الداخلي في البرود والتقلص. تقسمت هذه الحلقة المنفصلة وتقلصت إلى كرة غازية سائرة بمدار دائري حول الكتلة المركزية ثم انفصلت حلقات أخرى وأخرى نتيجة لتقلص الكتلة الغازية مكونة الشمس والكواكب الأخرى. يشار إلى فرضيتي



كانت و لا بلاس بفرضية النجم الواحد لأنهما يفسرا تكون المجموعة الشمسية من نجمة واحدة.

3- نظرية الكويكبات أو الأجرام الصغيرة:

تعتبر نظرية الكويكبات هي نظرية العالم الجيولوجي تشمبرلين (Chemberlin، 1843-1928) والعالم الفلكي مولتن (Moulton) ونظريتهما مبنية على ظاهرة المد الجاذبي، فالنظرية تعتمد على أن الشمس تكونت أولا وتفترض مرور نجم كبير بالقرب من الشمس أثناء سيره في الفضاء بالقرب من الشمس ونتيجة لعامل الجذب فقد انفصلت بعض الألسنة البارزة من سطح الشمس، وأخذت تلك الكتل المنفصلة من الغازات بالبرودة والتكثف ثم التجمد فتكونت أجسام صغيرة، ومن ثم تكونت الكواكب المشعة نتيجة لاندماج هذه الأجسام الصغيرة.

4- نظرية المد الغازي:

تم تعديل النظرية السابقة من قبل العالمين جينس وجيفريس (J. Jeans & H. Jeffreys)، حيث يفترضان أن النجم الذي مر بالقرب من الشمس قد أدى إلى فصل شريط طويل من المادة الشمسية تكثف فيما بعد إلى عدة كواكب، حيث أن انفصال نتوء من غازات الشمس بشكل مخروط بدلاً من كتل غازية نتيجة مرور هذا النجم بالقرب من الشمس ثم انقسم هذا العمود الغازي إلى عدة أجزاء وتكثفت مواد الأجزاء المنفصلة تدريجياً من غازية إلى منصهرة ثم صلبة فكونت الكواكب السيارة. هذه النظرية أعطت التفسير لتفاوت كثافة الأرض وحرارة باطنها.

5- نظرية النجوم المزدوجة – نظرية فريد هويل:

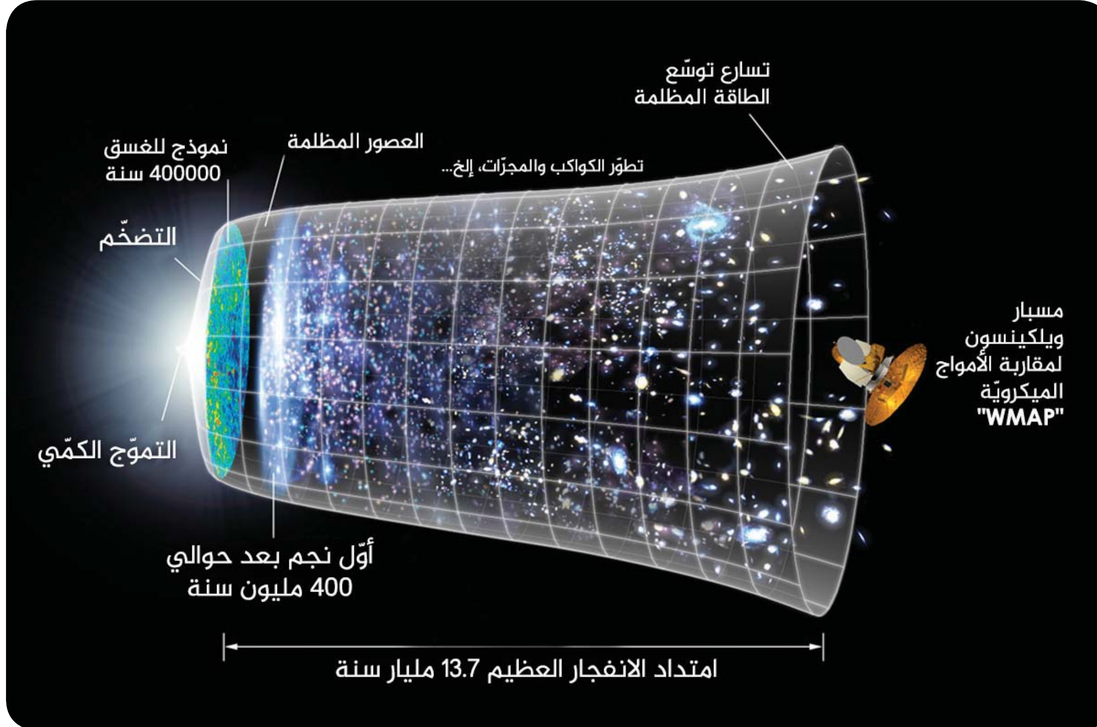
تسمى نظرية النجوم المزدوجة كذلك نظرية التوأمين وتفترض هذه النظرية بأنه كان هناك نجمان كبيران، انفجر أحدهما لنفاذ ما به من الهيدروجين مكوناً الكواكب الأخرى بينما بقيت النجمة الأخرى لتكون الشمس.



6- النظرية الحديثة:

يعتقد معظم العلماء بأن الكون نشأ قبل فترة تتراوح بين 10 – 15 بليون سنة ماضية خلال ما يعرف بالانفجار العظيم (الشكل 1-1). تفترض النظرية الحديثة بأن كل مادة الكون مركزة في كتلة صغيرة جدا في حجم الذرة وهى تتميز بكثافة عالية جدا. هذه المادة هي التي كانت سببا في ولادة كل شيء، أطلق عليها اسم (بذرة البداية)، حدث انفجار لسبب ما لهذه البذرة، نتيجة الكميات الهائلة من الطاقة الكامنة بداخلها، وقذفت بمادتها في الفضاء، في جميع الاتجاهات، ثم بدأ الكون بعد الانفجار في الاتساع، وبدأت المواد الكيميائية والغازات الساخنة والسحب المضطربة في التكون. تعرضت جميع الأجسام المنتشرة بالفضاء للبرودة بعد فترة من الزمن، ومن ثم نتجت المجرات والنجوم. وتفترض هذه النظرية أن الكون سيستمر في الاتساع إلى مالا نهاية، وتنص هذه النظرية أيضا أن الكون كان طاقة خالصة، خلال الثانية الأولى بعد الانفجار العظيم وأن هناك قوى رئيسية أربعة انفصلت بعد الانفجار وهما الجاذبية، القوة الكهرومغناطيسية، القوة النووية الشديدة، والقوة النووية الضعيفة، انفصلت جميعها وعانى الكون توسعاً هائلا، فالمادة وعكسها تصادمت ومحت إحداهما الأخرى وبقي جزء ضئيل من المادة التي شكلت الكون، وباستمرار توسع الكون وبانخفاض حرارته تكونت النجوم والمجرات وتغير التركيب الكيميائي للكون، فقد كان في بدايته مكوناً من 100 % من الهيدروجين والهيليوم بينما الآن 98 % منه يتكون من الهيدروجين والهيليوم.





الشكل (1-1): مراحل تطور الانفجار العظيم

5-1 الأرض والكون The Earth and Universe

كان اعتقـاد الأوائل بأن الأرض مسطحة الشكل وبأنها مركز الكـون وحولها تدور بقية الكواكب والأجرام كالشمس والقمر والنجوم ولكن هذا الاعتقاد كان خاطئاً حيث أن الشمس هي مركز الكون وحولها تدور بقية الكواكب والأجرام. إننا نعلم الآن بأن الشمس مجرد نجم من عدد لا يحصـى من النجوم والتي بمجموعتها تكون المجرة التي تسـمى درب التبانة. تقع أيضاً في الفضاء مجرات أخرى تعرف باسم المجرات اللولبية مكونة بمجموعها الكون.

1-5-1 حدود الكون

يعتقد العلماء بأن الكون قد ولد منذ بليون سـنة ويمتد حالياً على مسـافة 20 بليون سنة ضـوئية وبفعل الحركة الدائرية للكون تتسـع حدوده على الدوام نحو الخارج. وتعرف السنة الضـوئية بأنها وحدة لقياس المسافات في علم الفلك، وهي تمثل المسافة التي يقطعها الضوء



في سنة كاملة بسرعته البالغة 186000 ميل في الثانية. ويحتوي الكون على عشرة بلايين مجرة تشكل كل منها جزيرة فيها بليارات الأجرام المشعة. وعندما ننظر إلى أقرب النجوم أو الشمس فإن الضياء الصادر منهما والذي ينعكس في حواسنا يكون قد استغرق أربع سنوات (في حساباتنا الزمنية) في مساره منذ صدوره من الشمس وحتى وصوله إلينا.

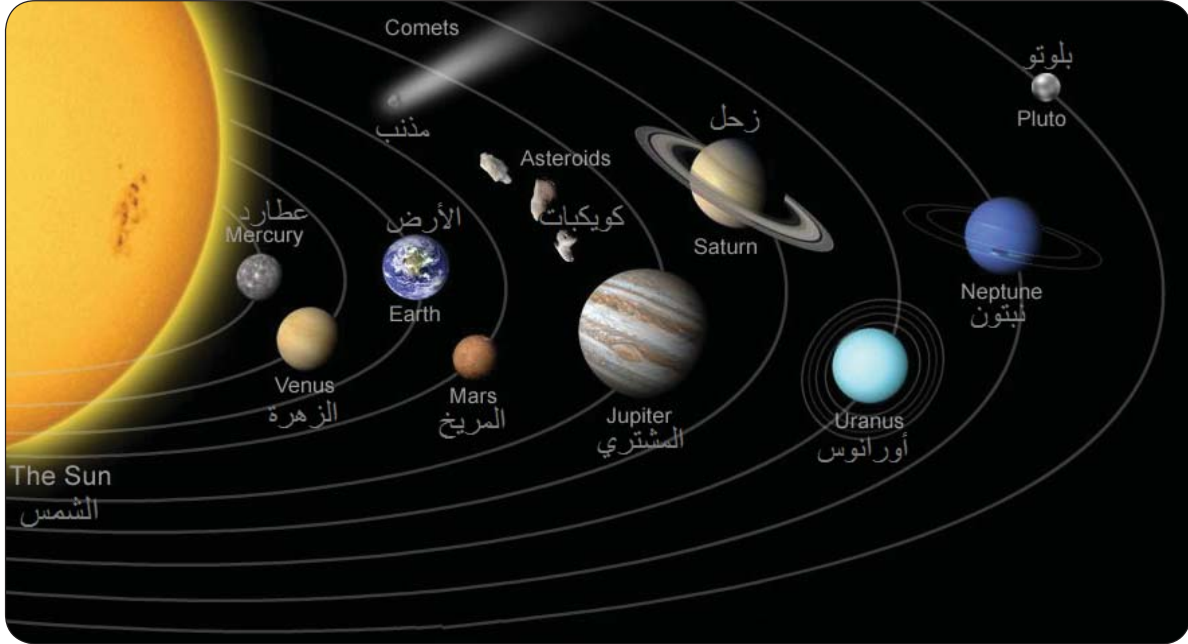
1-5-2 نظام مجرة درب التبانة

المجرة التي تقع فيها الأرض يطلق عليها درب التبانة وتقع الأرض في المنطقة الوسطية بعيداً عن مركز المجرة. وللمجرة قطر مستعرض (ما يماثل خط الاستواء في الأرض) يتراوح بين 100000 – 200000 سنة ضوئية وتدور حول محورها مكملة الدورة بفترة تقارب 200 مليون سنة.

1-5-3 المجموعة الشمسية

المجرة التي نعيش فيها عبارة عن مجموعة دوارة من النجوم على شكل قرص ومكونة من حوالي 30 بليون نجم مختلف الحجم والبريق، والشمس هي إحدى هذه النجوم وهي متوسطة الحجم ومعتدلة البريق وتقع في حافة طريق التبانة وهي مركز المجموعة الشمسية وتدور توابعها بمستوى واحد حولها وبمسارات موحدة المركز تمثل الشمس مركزها. هذه التوابع تشمل تسعة كواكب (الشكل 1-2) و 61 قمراً وأكثر من 1500 كويكبه وعدد لا يحصى من المذنبات والنيازك.





الشكل (1-2): يوضح مجموعة الكواكب وموقع كوكب الأرض منها

1-5-4 الخواص العامة للمجموعة الشمسية

جميع الكواكب تدور حول الشمس بنفس الاتجاهات بمدارات دائرية وبنفس المستوى تقريباً يسمى البروج، ماعدا كوكب بلوتو الذي يدور بمدار إهليجي عالي وينحرف بزاوية مقدارها 17^0. أما بالنسبة إلى الصفات الكيميائية والفيزيائية للكواكب فإنها تنقسم إلى التالي:

1 - الكواكب الأربعة الداخلية : عطارد – الزهرة – الأرض – المريخ.

هذه الكواكب تكون صغيرة ولها معدل كثافة عال مما يدل على أنها مكونة من صخور ومعادن. تعرف هذه الكواكب (الجدول 1-1) باسم الكواكب الأرضية لأنها تماثل الأرض.

2 - الكواكب الأربعة التالية : المشتري – زحل – أورانوس – نبتون

هذه الكواكب كبيرة الحجم بمقارنتها بالكواكب الأخرى ولها معدل كثافة أقل مما يدل على أنها مكونة في معظمها من غازات خفيفة كالهيدروجين والهيليوم، بالإضافة إلى مركبات متجمدة كالأمونيا والميثان.



i) الشمس Sun

تعتبر الشمس نجم حقيقي يبلغ عمرها خمسة بلايين سنة ويبلغ قطرها حوالي 1376000 كم، وتصل حرارتها حوالي 6000 °م وتزداد درجة الحرارة نحو المركز لتبلغ حوالي 20000000 °م. وهي تتكون من نفس المواد المكونة للأرض ولكن بنسب مختلفة تماماً، فحوالي 99 % من كتلة الشمس تتكون من الهيدروجين والهيليوم.

ii) القمر Moon

يبلغ قطر القمر 3476 كم ويدور القمر حول الأرض بمعدل أقل من 400000 كم، ويقوم بدورة حول محوره تستغرق 1/3 27 يوماً، وهي نفس المدة التي يستغرقها عندما يدور حول الأرض. ويؤثر القمر على الأرض بتحكمه في عمليتي المد والجزر. أجريت عدة قياسات فوق سطح القمر كقياس الأمواج الزلزالية، المغناطيسية، الحرارة، والجاذبية، وتم استنتاج أن القمر مكون من مواد صلبة شبيهة بالأرض وأن حرارة باطنه أقل من حرارة باطن الأرض، وأن قشرته مكونة من عدة طبقات وهي كالتالي:

الطبقة الأولى: تمثل الغطاء السطحي للقمر ويتراوح سمكها من عدة أمتار إلى عدة عشرات من الأمتار.

الطبقة الثانية: سمك هذه الطبقة حوالي 2 كم ومكونة من الصخور المتشققة والمتكسرة.

الطبقة الثالثة: سمكها حوالي 23 كم ومكونة من البازلت.

الطبقة الرابعة: سمكها حوالي 40 كم من الصخور الغنية بالفلسبار.

الطبقة الخامسة: تصل هذه الطبقة إلى عمق يصل إلى 65 كم وهي مشابهة لنطاق وشاح الأرض إلا أنها أبرد وأقل مطاوعة.

والقمر ليس له مجال مغناطيسي كالموجود بالأرض إلا أنه ذو مغناطيسية ضعيفة تأتي من الصخور النارية، وتبلغ كثافة صخور القمر حوالي 3.35 جم/سم^3. أما درجة حرارة القمر فإنها لا تتجاوز 1000 – 1100 ^{o}م، وهذه الدرجة ناتجة عن التركيز العالي للمواد المشعة الموجودة بداخله. وسطح القمر به تضاريس مختلفة تنقسم إلى أراضي مرتفعة (الجبال)

وأخـرى منخفضــة (الماريا أو البحار)، وهذا الســطح مغطى بثلاث أنواع من الصــخور هي صــخور نارية، البريشيا، والغبار القمري، وأهم هذه الصخور تكون الصخور النارية التي تم تقسيمها إلى ثلاث مجموعات من حيث التركيب والعمر كالتالي:

النــوع الأول (الأقدم) يتكون من طفوح بركانية غنية بالفلســبار والأنورثايت وهي مكونة للمناطق المرتفعة وعمرها حوالي 4 بلايين سنة. النوع الثاني هو البازلت ويحتوي على تركيز عالي من البوتاسـيوم والفوسـفور وعمره 4 بلايين سـنـة وهو أغنى الصـخور بالمواد المشعة. النوع الثالث يتمثل في الصــخور البازلتية وهي أيضــا غنية بالحديـد والتيتانيوم وتتواجد في مناطق الماريا.

الجدول (١-١): يبين مجموعة الكواكب وبعدها عن الشمس

اسم الكوكب	الاسم اللاتيني	بعده عن الشمس (مليون كم)
عطارد	Mercury	57.6
الزهرة	Venus	107
الأرض	Earth	148
المريخ	Mars	227.2
المشتري	Jupiter	773
زحل	Saturn	1417
أورانوس	Uranus	2848
نبتون	Neptune	4464
بلوتو	Pluto	5872

يعتبر نشوء القمر كنشوء الأرض تكون من تجمع الغبار نتيجة التكثف في المنطقة الداخلية من المجرة قبل 4.6 بليون سنة، حيث بدأت الطبقة الخارجية بالبرود والتبلور، وأول البلورات التي تكونت الفلسبارو البلاجيوكيز.



iii) المريخ Mars

يعتبر المريخ كوكب صغير الحجم ويبلغ قطره 6720 كم، وتبلغ كتلته 1/10 من كتلة الأرض، شكله يشبه الأرض، ويكمل دورته حول نفسه كل 24.5 ساعة، وتبلغ كثافة الجو فيه 1/100 من كثافة الأرض، ويحتوي على كمية كبيرة من ثاني أكسيد الكربون، وله غطاء ثلجي في منطقة القطب ويحتوي على كميات من ثاني أكسيد الكربون المثلج. يحتوي كوكب المريخ على قمران الأول هو فوبوس Phobos والثاني ديموس Deimos. بالنسبة للتراكيب الداخلية للمريخ، فهو كالقمر ليس له مجال مغناطيسي وله كثافة مقدارها 3.96 جم/سم^3.

تم إرسال العديد من السفن الفضائية إلى المريخ، والتي كشفت عدة أشياء حول المريخ وتاريخه، فمعظم النصف الجنوبي يشبه بشكل كبير القمر من حيث أنه ذو حفر وفتحات سببتها نيازك كثيرة، والنصف الشمالي به مساحات خالية من أية فجوات، وذلك دليل على أن هذا السطح أحدث من الجزء الجنوبي، وهذا يفسره وجود طبقات من البراكين الضخمة (على الأقل 15 بركاناً) وهي أكبر من أي درع بركاني على سطح الأرض، وأن بعضها مازالت نشطة. كما يوجد واد عميق ضخم يبلغ طوله حوالي 4000 كم وعرضه بين 100 – 250 كم وعمقه حوالي ٧ كم، نشوء هذا الوادي يعتقد بأنه عبارة عن سلاسل من المنخفضات الناتجة عن هبوط طبقات مكونة ما يعرف بالتركيب الخسيف (Graben).

تعتبر عوامل التعرية على سطح المريخ غير معروفة على سطح الأرض، فالعواصف الرملية كبيرة تصل إلى ارتفاع 55 كم فوق السطح وسرعة الرياح تصل إلى 300 كم/ساعة، وتستمر هذه العواصف لعدة أشهر، كما يعتقد بأن التعرية على سطح المريخ حدثت بتأثير المياه الموجودة عليه سابقاً، حيث أن الصور التي تم أخذها على سطح القمر أظهرت آثار لمجاري أنهار، ومع ذلك فإن المريخ يفتقد لتساقط الأمطار. وتتواجد كميات المياه القليلة الموجودة فوق سطح المريخ متكثفة كجليد عند القطب.

يشابه المريخ في جزئه الجنوبي إلى حد كبير تاريخ القمر من حيث وجود المرتفعات، إلا أن وجود البراكين فوق السطح يدل على انخفاض سيولة الصخور البازلتية كما أن مظهر السطح



يدل على أن البراكين مازالت فعالة وأن عمليات تكوين الصهير مازالت فعالة وأنه مازال في حالة تطور.

iv) الزهرة Venus

يبلغ قطر كوكب الزهرة 12042 كم وكثافته 5.25 جم/سم^{3}، ومحاط بغلاف غيمي من ثاني أكسيد الكربون يحجب سطح الزهرة وكثافته أعلى مئات المرات من كثافة الغلاف الغازي للأرض، ودرجة حرارة سطح كوكب الزهرة تصل إلى حوالي 500 ^{o}م، وفي هذه الدرجة فإن المعادن كالرصاص والزنك والقصدير تكون في حالة سائلة، ويرجع السبب في ذلك إلى قرب الزهرة من الشمس، وكذلك فإن غلاف الزهرة لا يسمح بتسرب الحرارة إلى الخارج. وللزهرة مجال مغناطيسي ضعيف حوالي 0.003 من قوة مجال الأرض، وهذا يشير إلى احتمالية أن لبه مكون من الحديد. والدراسات الرادارية أظهرت أن سطح الزهرة أملس تقريبا وبه مرتفعات لا تزيد عن 2.5 كم، وتاريخ نشوء الزهرة يعتقد بأنه أقدم من كوكب الأرض. أما اليوم على كوكب الزهرة فهو يعادل 243 يوماً أرضياً، أما السنة على كوكب الزهرة فتساوي 225 يوماً أرضياً، أي أن يوم الزهرة أطول من سنتها.

v) كوكب عطارد Mercury

يعتبر عطارد أصغر الكواكب السيارة، وأقربها إلى الشمس حيث يبلغ متوسط بعده عن الشمس 58 مليون كيلو متراً. قطر عطارد يساوي 1/3 قطر الأرض. وتصل درجة حرارة نصف كوكب عطارد المقابل للشمس إلى 400 درجة مئوية، بينما تهبط حرارة الجانب المظلم إلى 250 درجة مئوية تحت الصفر. يدور عطارد حول الشمس دورة كاملة كل 88 يوماً فقط من أيامنا الأرضية، ولكنه يبطئ جداً في دورانه حول نفسه إلى درجة أن دورته حول نفسه تساوي السنة فيه، أي أن يومه = سنة. كتلة كوكب عطارد = 1/18 من كتلة الأرض. وتبلغ جاذبيته حوالي 3/8 من الجاذبية على سطح الأرض. ولا تدور أية أقمار حول كوكب عطارد، مثله في ذلك مثل كوكب الزهرة.



vi) كوكب المشتري Jupiter

يبلـغ قطر كوكب المشـتري حوالي 88000 ميل (140,800كـم). هذا الكوكب عبارة عن كرة هائلة من غاز الهيدروجين، وتبلغ حرارته حوالي 54000 ^{o}م . ويحتوي المشتري على ١٦ قمراً. وسـنة المشـتري تعادل 11 سـنة و 10 أشهر و 3 أيام أرضـية، ولكنه يدور حول محوره بسرعة كبيرة جداً بالمقارنة بسرعة دورانه حول الشمس.

vii) كوكب زحل Saturn

يعتبر هذا الكوكب أصـغر من المشـتري قليلاً وكتلته تبلغ 1/3 كتلة المشـتري وكثافته تبلغ 1/2 كثافة المشـترى، وله تركيب داخلي وغلاف غازي مشـابه للمشتري، وصفته المميزة هي نظامه الحلقي المكون من آلاف الأحزمة الدوارة من دقائق لا يمكن إحصـاؤها، ويغطي اللب طبقة من الهيدروجين السـائل تليهـا طبقة من الهيدروجين والهيليوم السـائل ثم طبقة من الغيـوم. ويحتوي الجو في زحل على قليل من الأمونيا وهو أكثر برودة من المشـتري وتوجد في زحل مواسـم سـنوية لأن محوره يميل بدرجة 27، وله 18 قمراً ذات كثافة قليلة. ويدور زحل حول محوره بسـرعة في 10 سـاعات و 15 دقيقة، أما مدة دورته حول الشمس فهي 29 سنة و 167 يوماً أرضيا.

viii) كوكب أورانوس Uranus

يعتبر كوكب أورانوس أصـغر بكثير من المشتري ولكنهما متماثلان بالكثافة، وهو الكوكب الوحيـد الذي يميـل إلى جانبـه أي أن دورانه يـوازي تقريباً مسـتوى مداره حول الشـمس، والمعلومات المسـتقاة تشـير إلى احتمال وجود منطقة مائية تحت غطـاء الغيوم التي تغطيه، وذلك لأن كثافته تكون أعلى من كونه مؤلفاً من هيدروجين وهيليوم، ويعتقد أن له لب صخري صلب ومغلف بمحيط عميق من مياه سائلة. يحتوي كوكب أورانوس على 5 أقمار. ودورته حول نفسه (يومه) تماثل مدة المشتري، أي نحو 10 ساعات و 50 دقيقة، ولكن سنته تصل إلى 84 سنة أرضية.



ix) كوكب نبتون Neptune

يقع كوكب نبتون على بُعد 2793 مليون ميل عن الشمس وهو عبارة عن كرة خضراء باهتة اللون، ويدور حول الشمس مرة كل 164¾ سنة أرضية، بينما يدور حول محوره في 15¾ ساعة. ويبلغ قطره 49,500 كيلو متراً، وكتلته 17 ضعف كتلة الأرض ودرجة الحرارة السائدة على كوكب نبتون قُدرت بنحو 230 – درجة مئوية تحت الصفر، ويبدو أن سحب نبتون تتألف أساساً من الميثان دون أثر ملموس للأمونيا، ويصحب نبتون في تجواله قمران.

x) كوكب بلوتو Pluto

يعتبر هذا الكوكب هو الأبعد وهو صغير الحجم وله معدل كثافة قليل تزيد قليلاً عن 2جم/سم^3. ويدور بلوتو حول الشمس دورة كاملة في 249 سنة أرضية، في حين يدور حول محوره في 6 أيام و 9 ساعات. ويبلغ قطر بلوتو 5792 كيلو متراً، وليس له أقمار تدور حوله. ودرجة الحرارة غير معروفة على وجه الدقة على سطح بلوتو.

1-5-5 الكويكبات Planetoids

الكويكبات عبارة عن أجسام صغيرة صلبة تشبه الكواكب تتراوح في الحجم بين 8-16 كم قطراً وبعضها يصل إلى 776 كم، كل منها يدور في مداره الخاص حول الشمس. تم اكتشاف منها إلى حد الآن حوالي 1500 كويكب، وتقع بين المريخ والمشتري في حزام الكويكبات.

1-5-6 المذنبات Comets

تظهر المذنبات بين فترة وأخرى كأجسام خافتة الإضاءة في سماء الليل وتزداد بريقاً كلما اقتربت من الشمس ثم تخفت ثانية حينما تتراجع في مدار إهليجي، وكل منها له نواة صلبة في المقدمة محاطة بغلاف غازي يمتد خارجاً كذيل طويل ومن هنا جاءت تسميتها بالمذنبات.

كما أظهر التحليل الطيفي بأن المذنب مكون من غازات مؤينة وهي غازات الكربون وأول أكسيد الكربون والسيانيد، والرأس إما ذو نواة صلبة أو حشد من الكتل من ثلوج الماء والميثان والأمونيا، وهي المكون الرئيسي للغلاف الجوي لمعظم الكواكب.

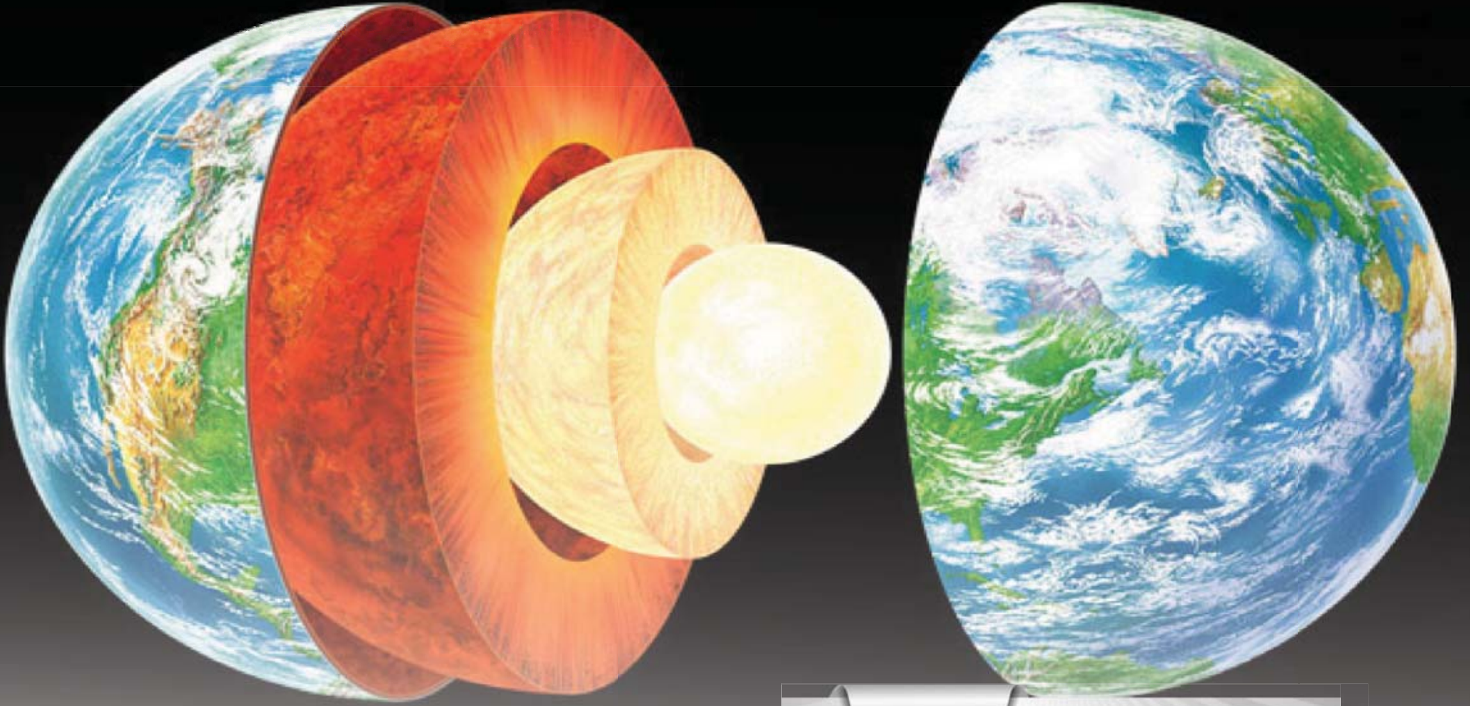


7-5-1 النيازك Meteorites

النجوم الساقطة التي تمر عبر السماء هي النيازك، وكل نيزك عبارة عن جسم صلب تصل حرارته إلى التوهج باحتكاكه بالغلاف الغازي، ويقدر عدد الساقط منها بملايين النيازك يومياً، ومعظمها صغير الحجم لا يزيد عن حبة الرمل وتتبخر تماماً حين وصولها السطح، والبعض منها يصل إلى الأرض ويصطدم بها مكوناً الفوهات على سطحها.

وتقسم النيازك إلى مجموعين: الأولى النيازك المعدنية وتتكون من الحديد وكميات كبيرة من النيكل والكوبلت، أما الثانية فهي النيازك الصخرية المتكونة من أنواع مختلفة من معادن السيليكات والمواد المشعة وتقدر أعمارها بحوالي 4.5 بليون سنة، وهي تمثل الغبار النجمي الذي تكونت منه الأرض والكواكب الأخرى.





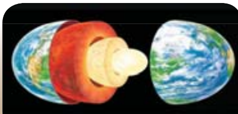
الفصل الثاني

الأرض ومكـونـاتهـا

The Earth & Its Components

1-2 مقدمة

للأرض شــكل ذو ثلاث محــاور، فهي كروية تقريباً ولكنها مفلطحــة عند القطبين ويبلغ نصــف قطر الدائرة التي تمر بخط الاستواء 6378 كم، بينما يبلغ نصف قطر الدائرة التي تمــر بالقطبين 6357 كــم (أي بفارق 21 كــم). ويبلغ المحيط التقريبي حول خط الاســتواء 40079 كــم والمحيط حــول القطبين 40009 كم، وتبلغ مســاحة الأرض حــوالي 510 مليون كم^2 حيث تشــكل البحــار والمحيطات حوالي 71 % من ســطحها، وحجم الأرضــ الكلي يبلغ 1.08×10^{12} كم^3 ويقدر وزنها بـ 6600 كيونتليون (كيونتليون= 66×10^{20} طن)، والمسافة بين أعلــى قمة فيها (قمة افرســت 8848 م) وأعمق نقطة في قاع المحيــط (قرب جزيرة مارينا الفلبين 11033م) حوالي 20 كم.



2-2 حركات الأرض Earth’s Movements

هناك ثلاثة أنواع من الحركات التي تقوم بها الأرض:

1 - تدور الأرض حول محورها بسرعة تبلغ حوالي 1660 كم/ساعة من الغرب إلى الشرق، أما سرعتها عند القطبين فهي صفر، وتتم كل دورة في يوم واحد حيث تؤدي إلى تعاقب الليل والنهار وتؤثر على حركة الرياح والمد والجزر.

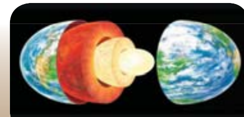
2 - الأرض لها حركة اهتزازية مصحوبة بتقدمها. إذا تتبعنا مسار تقدمها الاهتزازي لوجدناها تكمله بشكل مخروطي بفترة تستغرق 25800 سنة.

3 - للأرض حركة حول الشمس وتدور بسرعة معدلها 30 كم/الثانية وتكمل الأرض دورتها بفترة تزيد قليلاً عن 365.25 يوم وهذه الدورة أدت إلى اختلاف عدد ساعات الليل والنهار وحدوث الفصول الأربعة. ومحور الأرض ليس عمودياً بل يميل بزاوية قدرها 23.5 درجة وهذا أدى إلى أن يكون نصف الكرة مائلاً باتجاه الشمس خلال نصف السنة وبعيداً عنها خلال النصف الآخر ومن هنا تتكون الفصول. كما أنه هناك حركة عامة للمجموعة الشمسية بأكملها باتجاه نجم يسمى فيجا (Vega) بسرعة تبلغ حوالي 20 كم/الثانية.

3-2 أغلفة الأرض Earth's Shells

تم تقسيم كوكب الأرض إلى ثلاثة أغلفة اعتماداً على حالات تواجد المادة الثلاث (الصلبة، السائلة، الغازية) إضافة إلى الغلاف الحيوي وهذه الأغلفة هي الغلاف الصخري، الغلاف المائي، الغلاف الغازي أو الجوي ثم الغلاف الحيوي، وتتفاعل عناصر هذه الأغلفة مع بعضها وتؤثر في تغيير معالم سطح الأرض.

الغلاف الصخري (Lithosphere): يقصد به الغشاء الخارجي الصلب الذي يحيط بكامل الكرة الأرضية وهو يشمل القشرة الأرضية وجزء من باطن الأرض أسفل القشرة، وهو عبارة عن سطح شبه مستوي تتخلله القارات وقيعان البحار، وتوجد في وسط القارات



كتلة من الصخور النارية والمتحولة تسمى الدروع تعود إلى أقدم العصور الجيولوجية (ماقبل الكامبري). تكون الصخور الموجودة في هذا الغلاف منتظمة بشكل يمكن تمثيله بالأحزمة أو الطبقات الموحدة المركز وتختلف كل طبقة عن غيرها في التراكيب والكثافة والمرونة. يتكون الغلاف القاري غالبا من صخور الجرانيت بينما يتكون الغلاف المحيطي من صخور البازلت.

الغلاف المائي (Hydrosphere) : يشمل جميع كتل المياه التي تغطي سطح الأرض والتي تبلغ حوالي 3/4 مساحة سطحها. معظم هذه الكتل تقع في البحار والمحيطات والبعض الآخر يكون الأنهار والبحيرات ويملأ الباقي المسامات بين الصخور. والمياه التي تكون الأنهار وبعض البحيرات عادة مياه عذبة، أما المياه المالحة فتكون البحار والمحيطات وبعض البحيرات. وتحتوي مياه البحار والمحيطات على نسب مختلفة من الأملاح مثل كلوريد الصوديوم حيث تصل الملوحة الكلية لمياه البحر حوالي 35.5 جم/لتر، كما أن بعض الغازات توجد ذائبة في الماء كالأكسجين وثاني أكسيد الكربون.

الغلاف الغازي (Atmosphere) هو الذي يحيط بالكرة الأرضية، ويشمل الغازات التي بامتزاجها تكون الهواء الذي يغلف الكرة الأرضية وهو يحوي على كميات من بخار الماء وثاني أكسيد الكربون، والمكونات الأساسية للهواء هي النيتروجين بنسبة 78% وهو غاز خامل، والأكسجين بنسبة 21%، وكميات ضئيلة من غازات نبيلة.

الغلاف الحيوي (Biosphere) يشمل مجموعة الكائنات الحية من حيوانات ونباتات والتي تغطي مساحات من اليابسة كالغابات والمراعي والأعشاب، كما توجد مجموعة الكائنات الحية أيضاً داخل المياه مثل الأسماك والأعشاب البحرية والأحياء الميكروسكوبية وفي الهواء.

2 - 4 التركيب الداخلي للأرض Earth's Interior

الأرض عبارة عن كوكب صخري تقع في المدار الثالث من المجموعة الشمسية ولها حركتان دورانيتان. الأولى دورانها حول الشمس مرة في العام والثانية حول نفسها كل 24 ساعة، وهي عبارة عن كرة صلبة تأخذ شكلاً اهليجيا (بيضاوياً) يبلغ نصف قطرها الأفقي عند خط



الاستواء 6378.1 كم ونصف قطرها العمودي عند الأقطاب 6356.7 كم أن هناك زيادةً قدرها 21.4 كم عند خط الاستواء وهذه تمثل الشكل الاهليجي أو ثابت التفلطح والذي يقدر ب 0.0033. لقد تم حساب قيم الجاذبية عند الأقطاب ب 983.218 جال بينما قيست عند خط الاستواء ب 978.032 جال ووجد أن هناك فرق مقداره 5.2 جال. وهذا الفرق لا يتفق مع القيم التي تم التوصل إليها نظرياً عند افتراض أن الأرض كروية الشكل والذي يبلغ 3.4 جال. وهذا الاختلاف يدل على أن الأرض تأخذ شكلاً اهليجيا أو بيضاوياً. قال تعالى ﴿وَٱلْأَرْضَ بَعْدَ ذَٰلِكَ دَحَىٰهَآ ٣٠﴾ النازعات آية ٣٠.

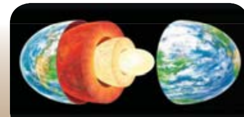
تكتسب الأرض حرارتها من مصدرين:

المصدر الأول: النشاط الإشعاعي وهي عملية طبيعية Spontaneous يجري خلالها تغيير في مكونات الذرات لتنتج عناصر جديدة كما يحدث في التفاعلات النووية مما ينتج عنها تحرر طاقة على شكل حرارة عالية تبرد عند صعودها إلى القشرة الأرضية.

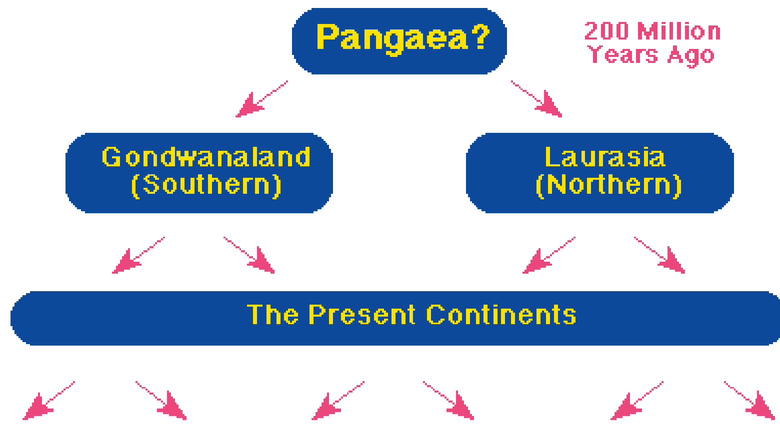
المصدر الثاني : الحرارة المتبقية Residual heat عبارة عن حرارة تزامنت مع تكون الأرض قبل 4600 مليون سنة والتي نتجت من امتزاج واختلاط مخلفات كونية Cosmic Debris نتج عنها ما يعرف بالأرض.

أما التوزيع الجغرافي لشكل الأرض فقد استدل عليه عام 1915 من خلال نظرية الانجراف القاري والتي تفترض وجود قارة عملاقة قبل حوالي 200 مليون سنة أطلق عليها اسم بانجيا Pangea يحيط بها محيط عظيم أطلق عليه اسم بانثالاسا Panthalassa وتفككت هذه القارة العظيمة إلى (الشكل 2-1):

- قارة شمالية سميت لاروسيا Laurasia وتضم حاليا قارات أمريكا الشمالية وأوراسيا (أوروبا وآسيا) ما عدا الهند وجرينلاند.
- قارة جنوبية أطلق عليها جندوانالاند Gondowanaland وتضم حالياً قارات أمريكا الجنوبية، وأفريقيا، وأستراليا – الهند، والقارة المتجمدة الجنوبية. ويفصل



بين هاتين القارتين بحر كبير يسـمى التثيس Tethys ويُعتقد أن قارة الجندوانالاند بـدأت تتفكك حيـث انفصـلت أفريقيا وأمريـكا الجنوبية ككتلة واحـدة وبدأ بعدها المحيط الأطلسي في التكوين. وخلال تلك المرحلة أيضا انفصلت أستراليا من القارة المتجمدة الجنوبية.

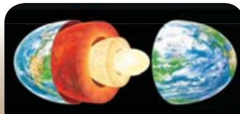


الشكل (1-2): الوضع الحالي للقارات الست

دلت الدراسـات الجيوفيزيائية والسـيزمية على أن التركيب الداخلـي للأرض التي يقع مركزها على عمق 6371 كم يتألف من أربع طبقات أساسـية هي: القشـرة – الوشاح – اللب الخارجي – اللب الداخلي، وكل من هذه الطبقات يلعب دوراً هاماً في مرور وانعكاس وانكسار الموجات الزلزالية نظراً لاختلاف كثافة الصـخور واختلاف التركيب المعدني، بالإضافة إلى اختلاف درجات الحرارة والضغط مع ازدياد العمق. ويمكن توضيح خصائص كل طبقة من طبقات الأرض كما يلي (الشكل 2-2):

1 - القشرة الأرضية

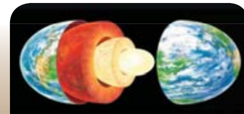
يتراوح سـمك القشـرة الأرضية Earth Crust ما بين 25 كم إلى 60 كم تحت القارات، ومن 5 كم إلى 10 كم تحت المحيطات، وتتميز صـخور القشـرة الأرضية بكثافتها المنخفضة وبطبيعتهـا غير المتجانسـة وذلـك لاختلاف الظـروف والبيئات التي تكونت فيهـا. وتتفاوت القشـرة الأرضـية في تركيبها الصخري من صـخور الجرانيت – الأكثر شـيوعاً في المناطق

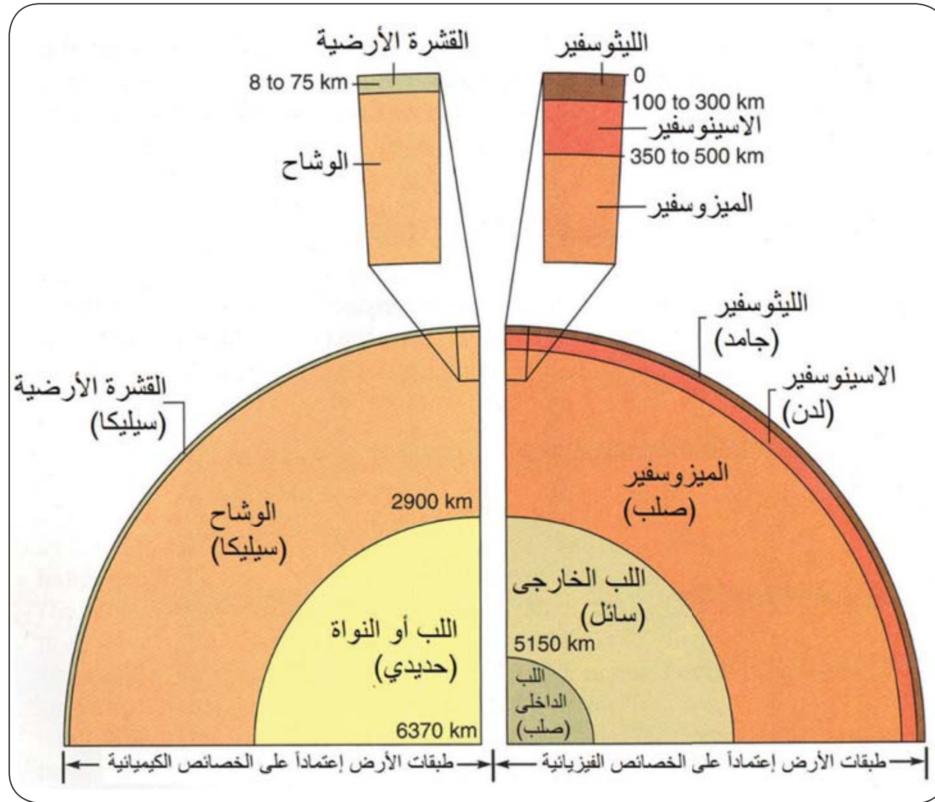


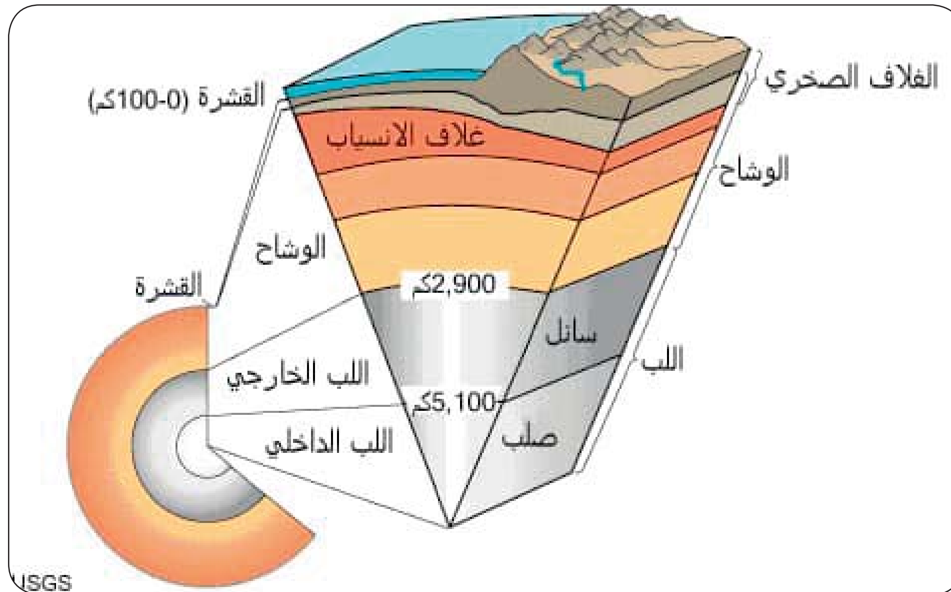
القارية والمكون الرئيسي لها - إلى صخور البازلت المكونة لقيعان المحيطات، وتخلو القارات من صخور البازلت عدا المناطق البركانية ومناطق الضعف في القشرة الأرضية التي ترتفع فيها الصهارة عبر الشقوق إلى سطح الأرض. بينما تخلو قيعان المحيطات من وجود صخور الجرانيت إلا من بعض الرسوبيات البسيطة التي جرفتها مياه الأنهار والسيول.

إن الاختلاف الواضح بين سماكة القشرة القارية عن القشرة المحيطية يدل على أن للجبال جذوراً تتجاوز في سماكتها 4 – 5 أضعاف ارتفاع الجبال. بمعنى آخر أن الجبال عبارة عن مناطق ترتفع عدة مئات من الأمتار فوق التضاريس المحيطة بها ولها أوتاد سميكة نتجت من سماكة القشرة الأرضية حتى يحدث توازن ايزوستاتي بين مكونات القشرة الأرضية وفقا لكثافتها فسبحان من قال ﴿ وَٱلۡجِبَالَ أَوۡتَادٗا ۝٧ ﴾ سورة النبأ آية ٧. وكذلك في قوله تعالى ﴿ وَٱلۡجِبَالَ أَرۡسَىٰهَا ۝٣٢ ﴾ سورة النازعات آية ٣٢.

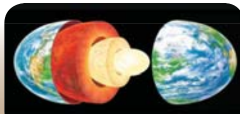
وقد لاحظ عالم الجيوفيزياء موهورفيتش Mohorvicic عام 1909 م ازدياد سرعة الموجات الزلزالية وتغير الصفات المميزة لها عند انتقالها من الجزء السفلي لطبقة القشرة الأرضية (وسط منخفض الكثافة) إلى الجزء العلوي من طبقة الوشاح (وسط عالي الكثافة) مما يدل على أن هناك وسطاً ذو كثافة عالية وطبيعة غير صلبة تماماً يفصل بين طبقتي القشرة الأرضية والوشاح، وقد تم تسمية هذا الوسط باسم Moho Discontinuity تكريماً لهذا العالم (الشكل 2-2). ويختلف عمق هذا الوسط من مكان لآخر دلالة على اختلاف سمك القشرة الأرضية وكثافتها تحت القارات عنها تحت المحيطات.

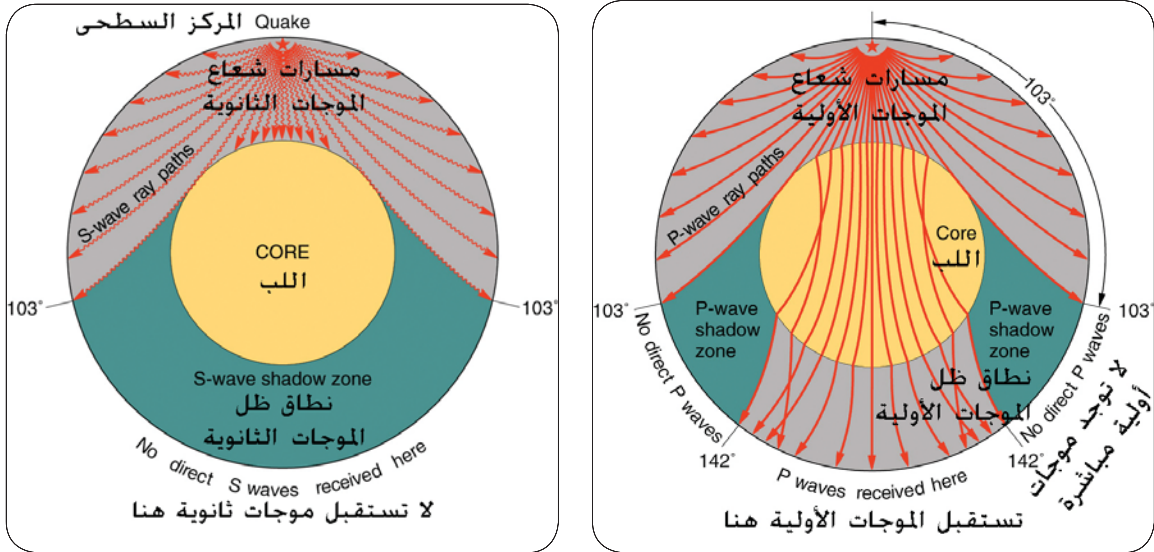






الشكل (2-2): التركيب الداخلي للأرض

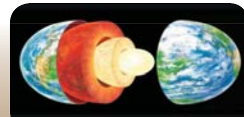




الشكل (2-3) : يبين مسار الموجات الأولية والثانوية داخل باطن الأرض

2- الوشاح

يقع الوشــاح أو الستار Mantle تحت القشرة الأرضية، ويصل عمقه إلى 2900 كم من سـطح الأرض، ويتكون من صــخور صـلبة عالية الكثافة يدخل في تركيبها بصـفة أساسية عنصري الحديد والمغنيسيوم، ويعتقد بعض علماء الأرض أن صخور البيريدوتيت Peridotite التــي وجــدت في مناطق متفرقة من العالم مثل الخليج العربــي وتركيا وإيطاليا هي جزء من صخور الوشاح التي تتميز بلونها الداكن وكثافتها العالية، وتتكون من البيروكسين و الأوليفين اللذين تكونا تحت تأثير الحرارة والضـغط الشديدين، والتي تنتقل فيهما الموجات الزلزالية بنفس السرعة العالية التي تنتقل بها خلال صخور الوشاح. وتتميز صخور الجزء العلوي من طبقة الوشاح بأنها في حالة شبه سائلة في منطقة Asthenosphere نتيجة للحرارة العالية التي ترجع إلى وجود بعض المواد المشعة فيها، ونظراً للضغط الشديد الواقع فوق تلك المنطقة فإن صــخورها أصـبحت في حالة لزجة ثقيلة القــوام تنزلق عليها الصــفائح التكتونية التي تحمل فوقها القارات والمحيطات مسـببة ما يسـمى بالزحف القاري Continental Drift ، الذي يعد أحد الأسباب الرئيسية لحدوث الزلازل في العالم.



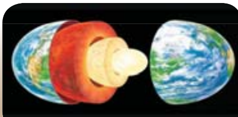
3 - اللب

يقع اللب Core على عمق يتراوح ما بين 2900 إلى 6371 كم من سطح الأرض، ويتكون من جزئين هما : اللب الخارجي Outer Core ويبلغ سمكه 2080 كم ويصل إلى عمق 5100 كم من السطح ويتركب أساساً من عنصري الحديد والنيكل في الحالة السائلة، ولا تنتشر فيه موجات القص أثناء حدوث الزلازل. واللب الداخلي Inner Core يبدأ من عمق 5100 كم إلى أن يصل إلى مركز الأرض على عمق 6371 كم ويبلغ سمكه حوالي 1390 كم ويتكون من مزيج من عنصري النيكل والحديد في الحالة الصلبة. دلت الدراسات الجيوفيزيائية أن كثافة الصخور تزداد تدريجياً مع ازدياد العمق حيث وجد أن مكونات الأرض في اللب أثقل منها في الوشاح وفي الوشاح أثقل منها في القشرة. حيث تبلغ كثافة صخور اللب (الثقل النوعي) حوالي 12 جم/سم^3 بينما في الوشاح 3.5 جم/سم^3 وفي صخور القشرة تصل إلى 2.7 جم/سم^3. وصدق قوله تعالى في الآية الثانية من سورة الزلزلة " وأخرجت الأرض أثقالها ".

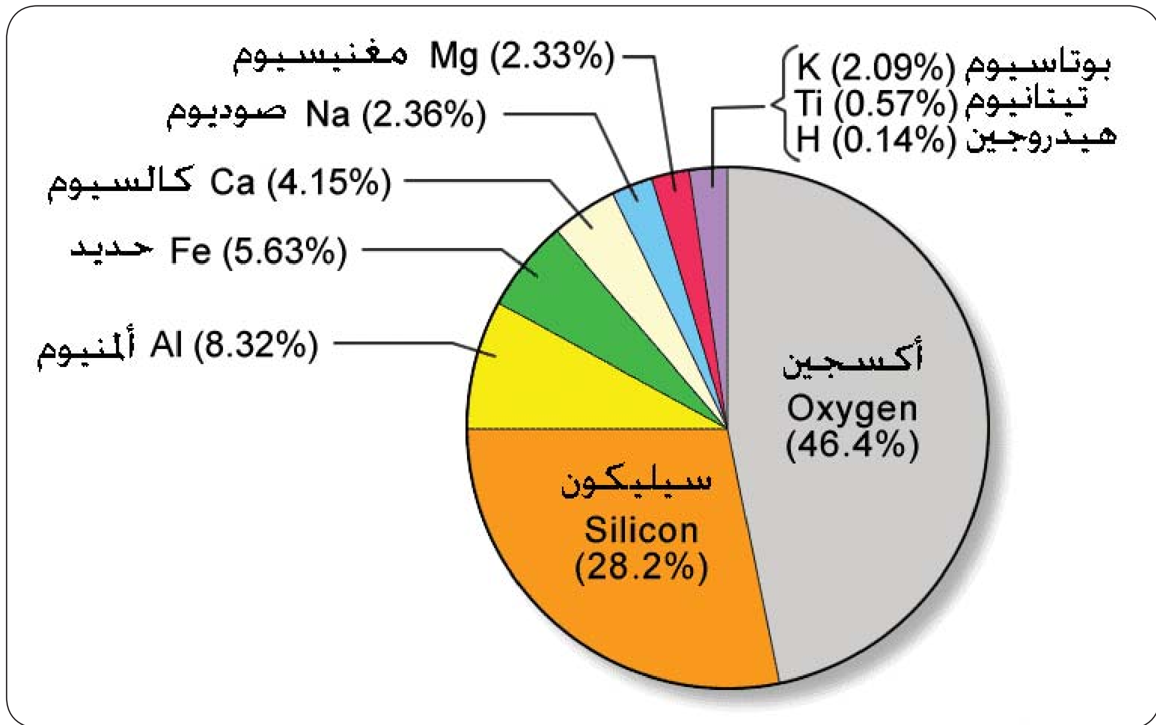
يعبر عن الكثافة بدلالة الوزن النوعي بأنها حاصل قسمة الوزن على الحجم وقد وجد أن كثافة الأرض الكلية حوالي 5.5 جم/سم^3، وكثافة صخور القشرة الخارجية للأرض تتراوح بين 2.6 - 3 جم/سم^3 ، لذا يستدل على أن كثافة صخور اللب الباطني للأرض يجب أن تكون أعلى من 5.5 جم/سم^3. يدل الانتفاخ في منطقة الاستواء الناتج من دوران الأرض على أن لب الأرض ذو كثافة عالية جدا.

5-2 المجموعات المعدنية للقشرة الأرضية

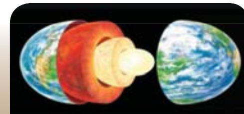
تتكون القشرة الأرضية من صخور نارية ومتحولة ورسوبية وبنسب متفاوتة حيث تمثل الصخور النارية 90 % من قشرة الأرض الخارجية، والمتحولة 5 %، أما الرسوبية فتمثل 5 %. وتتكون هذه الصخور من معادن، وتتكون المعادن من العناصر المعروفة، حيث توجد بعضها منفردة تتكون من عنصر واحد فقط مثل الذهب والكبريت والجرافيت، أما الغالبية العظمى من المعادن تتكون من اتحاد عنصرين أو أكثر مثل الكربونات والسيليكات. ومع أن



هناك أكثر من مائة عنصر معروفة لدينا، إلا أن ثمانية عناصر أساسية فقط (الشكل 2-4) تتكون منها القشـرة وتشـكل 98 % بالوزن من قشرة الأرض، وهذه العناصر هي الأكسجين، السيليكون، الألومنيوم، الحديد ، الكالسيوم، الماغنسيوم، الصوديوم والبوتاسيوم. أما باقي العناصـر مثل الباريوم، الكروم، الكلور، الكبريت، النحاس، الرصـاص، النيكل والفضة.... الخ فتمثل حوالي 2 % من وزن القشرة.



الشكل (2-4): يبين النسبة المئوية للعناصر الموجودة بالقشرة الأرضية





الفصل الثالث

علـــم المعـــادن
Mineralogy

1-3 مقدمة

يُعـرَف المعـدن على أنه مادة صـلبة متبلورة، غير عضـوية تتكون طبيعيـا، وذات تركيب كيميائـي وذري ثابتين، ويوجد علـى هيئة بلورات منفردة أو تجمعـات بلورية وقد يوجد على شكل غير متبلور. ويوجد في القشرة الأرضية نحو ألفي معدن تدخل في تكوين أغلب الصخور. والمعدن هو الوحدة البنائية للصـخور. فالصـخر يتكوَن من معدن واحد أو أكثر. ومن أمثلة الصـخور التـي تتكوَن من معـدن واحد الحجر الجـيري المكون من الكالسـيت ($CaCO_3$). والمعـدن يجب أن يتكوَن ويتواجد طبيعيا من خلال عمليات جيولوجية وبدون تدخل العمليات الصـناعية ليطلق عليه اسـم معدن، فكبريتات الكالسـيوم مثلا الموجـودة في المادة الطبيعية،



تُعرف باسم معدن الأنهيدريت ($CaSO_4$) وإذا أحتوى رمزه الكيميائي على جزيئات مائية في تركيبه فسيعرف المعدن باسم الجبس ($CaSO_4,2H_2O$). وعليه فإن التركيب الكيميائي وحده لا يعتبر مميزاً للمعادن، فقد يتفق معدنان في التركيب الكيميائي ولكنهما يختلفان في الصفات الفيزيائية الناتجة عن التركيب الذري الداخلي لبلورة المعدن (معادن متعددة النظم البلوري مثل الكالسيت والاراجونايت(كربونات الكالسيوم CaCO3) لهما تركيب الكيميائي واحد.

2-3 تكوُن المعادن Minerals Formation

توجد عدة طرق مختلفة تتكوَن بواسطتها المعادن المتواجدة في القشرة الأرضية نوجزها بما يلي:

3-2-1- التبلور المعدني المباشر من الصهارة

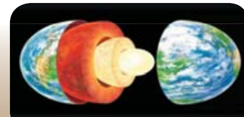
عندما تنشأ وتتولد الصهارة من باطن الأرض نتيجة للانصهار الجزئي للصفيحة التكتونية الهابطة لازدياد درجة الحرارة مع العمق والمسماة بالممال الحراري (Geothermal Gradient)،لتحقن ولتصعد لأعلى باتجاه الوشاح العلوي والقشرة الأرضية مخترقة الصخور المجاورة لها لقلة كثافتها مقارنة لهذه الصخور المجاورة، حيث تبدأ الحرارة والضغط بالنقصان لتبدأ معادنها السليكاتية بالتبلور مكونة العديد من الصخور النارية(Igneous Rocks) الجوفية منها والسطحية المتنوعة لاختلاف أعماق تبلور معادنها ، وأيضا لاختلاف التركيب الكيميائي للصهارة نتيجة لذلك.

3-2-2 تبلور المعادن من محاليل مائية

هذا النوع من المعادن تتكوَن من المحاليل المائية الموجودة على سطح القشرة الأرضية، والتي تُكوِن الغلاف المائي، فالمعادن التي تتبلور من هذه المحاليل تكون الصخور الرسوبية الكيميائية التكوين، وإذا كان للكائنات الحية نصيب في تبلور هذه المعادن فتنشأ منها الصخور الرسوبية العضوية.

3-2-3 إعادة الترتيب الذري لذرات للمعادن

بعض المعادن يمكن أن تتكوَن نتيجة لإعادة بناء وترتيب البناء الذري الداخلي لبلورة المعدن السابقة التكوين، حيث من الممكن أن يصاحب إعادة هذا الترتيب إزالة عناصر كيميائية من خلال تبادل أيوني لبعض لهذه العناصر الذرية الكيميائية لتكوِن



معدن أو معادن أخرى . كما أن المحاليل المائية الحارة تغلغل عبر الشـقوق الصخرية تُساعد في عمليات تغير المعدن/المعادن السابقة النشأة إلى معادن أخرى.

4-2-3 سلسلة تفاعلات الكيميائية للعالم بوين BowenChemical Reaction Series

عندما تبدأ المعادن في الصـهارة النارية السـيلكاتية فى التبلور، فإن مراحل التبلور لهذه المعـادن تتكون فى درجات حرارة مختلفة، ولذلك فـإن الإختلاف والتدرج في تبلورها يؤدي إلى التغير في تركيبها الكيميائي و تشـكيل أنظمتها البلورية (المعدنية) المختلفة . وقد وضـع العالم بوين (Norman L. Bown) نظرية تبلور المعادن السـليكاتية من الصـهارة النارية الجوفيـة من خلال التتابعات المسـتمرة أو المتقطعة للتفاعلات الكيميائية للصـهارة بتأثير انخفاض درجة الحرارة ومحتوى السـليكا (SiO_2 ٪) أثناء صـعود الصهارة باتجاه القشرة الأرضية، وتكوين مختلف الصخور النارية الجوفية ومقابلاتها الصخرية السطحية (الشكل 3-1) . وقد قسمت هذه التتابعات الكيميائية للمعادن الى قسمين أو ذراعين منفصلين:

1-4-2-3 سلسلة التفاعل الكيميائي المستمر

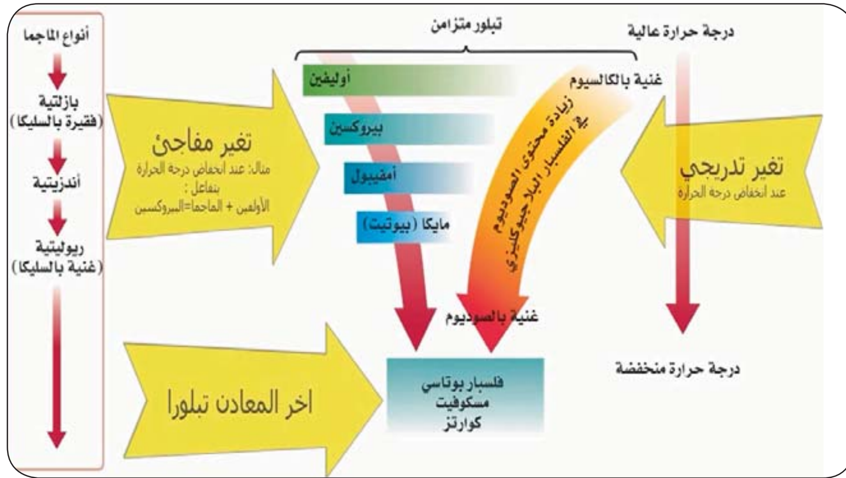
ونبـدأ هـذه السلسـة بالتبلور المعـدني المبكـر لمجموعة معـادن البلاجيو كليز الكلسـية (Calci-Plagioclase) الأنورثايـت (Anorthite) و ليسـتمر التفاعـل الكيميائـي لهـا عـن طريـق التبـادل الأيـوني لـكل مـن عنصـري الصـوديوم (Na) و الكالسـيوم (Ca) لتنتهـي سلسـلة التفاعـلات الكيميائيـة بتبلـور أو تكويـن معـدن البلاجيوكليز-الصـودي معـدن البايت (Albite) . ويسـمى هـذا التتابع للمعـادن تتابعاً معدنياً وكيميائياً متواصـلاً مكونـاً معادن بلاجيوكليزلصـخور نارية جوفية سـطحية متعددة نظـرا للتغيرات الحرارية والكيميائية للصـهارة السـليكاتية النشـأة. وتعتبر مجموعة معادن البلاجيوكليز مثال على هذه السلسلة.

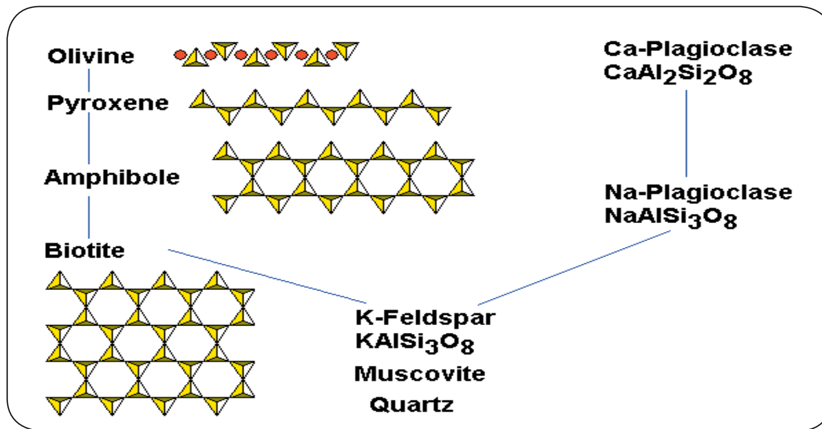
2- سلسلة التفاعل الكيميائي غير المتصلة

يمثـل تتابـع التفاعل الكيميائـي الغير متواصـلة لتكوين و تبلور معادن سـليكاتية متتالية منفصـلة ذات تراكيب كيميائية مختلفة عن بعضها البعض ، وتكون مجموعة معادن الأولفين

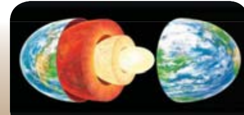


هي أول المعادن المتبلورة في هذه السلسلة الكيميائية ، حيث يتفاعل هذا المعدن، الذي يتكون مبكرا، مع بقية الصهارة ليكون معدن أو مجاميع معادن البيروكسين (Pyroxene)، ثم يليها في هذه السلسلة معادن الامفيبول (Amphibole Group) ذات تراكيب بلورية كيميائية مختلفة، ثم يليها معادن الميكا (Mica Group)، ثم يليها في التعاقب معادن مجموع البوتاسيوم فلسبار (K-Feldspat Group)، ثم يليها معدن الماسكوفايت (Muscovite Mineral)، ثم يليها معدن الكوارتز (Quartz Minerals)، وفي هذا التتابع التفاعلي الكيميائي التسلسلي الغير متصل مكوناً لتراكيب كيميائية، معدنية، وبلورية متتالية ومتعاقبة مختلفة التركيب ، ولذلك يسمى تتابعا كيميائيا متقطعا (الشكل 3-1).





الشكل (3-1): يبين سلسلة التفاعلات الكيميائية لتكوين وتبلور مختلف المعادن السليكاتية للصهاره الناري الجوفي (Bown L. Norman 1928)



3-3 المعادن المكونة للصخور

يلاحظ أن عنصري الأوكسجين (O_2) والسيليكون (Si) أكثر العناصر الكيميائية تواجدا الموجودة في القشرة الأرضية، كما أن ثاني أكسيد السيليكون (SiO_2) هو من أكثر الأكاسيد كأنيون (Anion) المكونة لمعادن الصخور النارية و المتحولة. وعلى هذا الأساس تم تقسيم المعادن الحاوية له إلى مجموعة معادن السيليكات، وهى تكون ما نسبته 92% من معادن القشرة الأرضية . كما أن بقية المعادن تم تقسيمها إلى معادن غير سيليكية أيضا باستخدام الشق الأيوني لمعدلاتها الكيميائية، كأكاسيد المعادن ، والكبريتيدات والفوسفات والكربونات والكبريتات، و البرومات، و النتريدات) ، وتتمثل هذه في ثماني مجموعات معدنية، تتكون من مجموعات معادن غير سليكاتية، ويشكل الباقي مجموعة المعادن السليكاتية.

1-3-3 المعادن السيليكاتية Silicate Minerals

1 - الكوارتز Quartz (SiO_2)

يعتبر معدن الكوارتز من أشهر المعادن تواجدا في معظم الصخور المعروفة، وهو يلي مجموعة معادن المايكا البيضاء في التبلور من الصهارة النارية، ليسود في الصخور النارية الفلسية (Felsic Rocks- Granite) ، ويتواجد أيضا من ضمن المعادن السائدة في الصخور الرسوبية الرملية. يتكون معدن الكوارتز النقى من ثاني أكسيد السليكون (SiO2) ، وله أشكال رباعية الأوجه ($Tetrahedral – SiO_4$) متشابكة في جميع الاتجاهات (أيفي الاتجاهات الثلاثة التي تحدد الفراغ الهندسي لبنية التتراهيدرال) ، وهذا المعدن لا يعد من مجموعة الأكاسيد، ويصنف من مجموعات المعادن السليكاتية لأنه متكون من السليكون. وعليه فهو من المعادن (الكوارتز) السليكاتية الوحيدة الذى لا يتأثر بعوامل التجوية الكيميائية ولا يتغير إلي معادن طينية.

2 - مجموعة معادن الفلسبارات Feldspars

تتواجد هذه المعادن في صخور القشرة الأرضية بنسبة تتراوح من 51 إلى 60 % ، وتشابه فى تركيبها الداخلي الكوارتز، ولكنها تختلف عن الكوارتز بوجود أيونات من



الألومنيوم تحل محل السليكون فى داخل الأشكال الرباعية الأسطح، ولذلك يتكون بها شق قاعدي ليتوازن مع أيونات الشحنات السالبة في المعادلة الكيميائية للمعدن، والتي تتكون من ذرات الأكسجين نتيجة لاستبدال السليكون بالألومنيوم. وتنقسم معادن الفلسبار إلى قسمين هما البلاجيوكليز (Plagioclase) ويعرف بالفلسبارالصودى، لاحتوائه على عنصري الصوديوم، والآخر يعرف بالفلسبار الحاوي لعنصر الكالسيوم، ويتميز بوجود حزات (التوأمية- Twinning) في بلورات، والتي بواسطتها يمكننا التعرف أو تميز مجموعة معادن البلاجيوكليز عن مجموعة معادن الفلسبارات البوتاسية المتكونة من معدن الأرثوكليز (Orthoclase- $KAlSi_3O_8$)، ومعدن الميكروكلين (Microcline- $KAlSi_3O_8$) وتتمثل معادن البلاجيوكليز في معدني الألبايت (Albite- $NaAlSi_3O_8$) والأنورثيت (Anorthite -$CaAl_2Si_2O_8$)، وهما يتميزان بانعكاس الضوء من أسطحها البلورية. ويمكن أن تتكون سلسلة من المحاليل الصلبة بين معدني الأنورثيت والألبايت، وذلك باستبدال إحلال أيون صوديوم محل أيون سليكون فى الألبايت، و بأيون عنصر الألمنيوم وأيون كالسيوم فى الأنورثيت، أو العكس (أى استبدال أيون ألومنيوم وأيون كالسيوم فى الانورثيت بأيون سليكون وأيون صوديوم فى الألبايت)، وبذلك تتكون سلسلة من معادن البلاجيوكليز مختلفة لاختلاف تركيبها الكيميائي المعدني بين معدني الألبايت ومعدن الأنورثيت، وتسمى بمجموعة معادن البلاجيوكليز. والأخرى تُعرف بمجموعة البوتاس فلسبار (Potash-Feldspar or K=feldspar) والمتضمنة معدني الأورثوكليز و المايكروكلين (لاحتوائهما على عنصر البوتاسيوم).

3 - مجموعة معادن الأوليفين Olivines

وهذا النوع من المعادن يتكون من أورثوسيلكات الحديد والماغنسيوم $(Mg,Fe)_2SiO_4$، وتتضمن هذه المجموعة فورستيايت (Forsterite- Mg_2SiO_4) الغني بعنصر الماغنيسيوم، ومعدن فيالايت (Fayalite- $Fe_2Si\ O_4$) الغني بعنصر الحديد وكيلاهما نهايتي المحلول الكيميائي الصلب لمجموعة الأولفين، وهى أول المعادن السيليكاتية التى تتبلور من الصهير فى درجات حرارة عالية، لذلك فهي شائعة فى نطاق الوشاح العلوي (Lithosphere)، وتتميز باللون الأسود إلى الأخضر الزيتوني. ويتكون شق السليكات فى هذه المعادن من ذرة



من الســليكون يحيط بها أربع ذرات من الأكســجين $(SiO_4)^{-4}$ تقع عند أركان شـكل رباعي الأوجه (Tetrahedron) كما هو مبين فى الشـكل (3-2) ، ليصــبح الشــق الناتج عن هذا الترتيب رباعي التكافؤ، فكل ذرة من ذرات الأوكسجين تستخدم تكافؤا واحدا سالبا لتكافئ ذرة الســليكون الموجــودة فى مركز الشــكل الربـاعــي الأوجه، ويبقى علــى كل ذرة من ذرات الأكسجين شحنة سالبة واحدة تجذب أيونات قاعدية فلزية (الحديد والماغنسيوم). وتتكون بلــورات معــدن الأولفين من خلال ربط الأشـكال الرباعية الأوجه المكونة لشــق الســيليكات بأيونات فلزية قاعدية ثنائية التكافؤ. يمكن أن تحل أيونات الحديد محل أيونات الماغنسيوم فى بلورات مجموعة معادن الأولفين وبالنسب المحددة لهذا الإحلال كما هو مبين فى الجدول (3-1) ، إذ أن القطر الأيوني لعنصري الحديد والماغنسيوم تقارب وشحنتهما واحدة، ولهذا يقــال أن عنصــري الحديد والماغنســيوم يكونان محلولا صــلبا في التركيــب الذرى لمجموعة معادن الاوليفين.

جدول (3-1) : يوضح نسب إحلال عنصر الحديد لعنصر الماغنيسيوم في المحاليل الصلبة لمجموعة معادن الأوليفين

الفورستيرايت (Foresterite)	من 0 إلى 10 % عنصر الحديد
كريسولايت (Chrysolite)	من 10 إلى30 % عنصر الحديد
هيالوسدرايت (Hyalosiderite)	من 30 إلى 50 % عنصر الحديد
مورتونولايت (Mortonolite)	من 50 إلى 70 % عنصر الحديد
فيرهورنولايت (Ferrohortonolite)	من 70 إلى 90 % عنصر الحديد
فيالايت (Fayalite)	من 90 إلى 100 % عنصر الحديد

وهنا يتم تقســيم معادن الأوليفين طبقا لنســب الحديد والماغنسيوم التى تحويها معادن هــذه المجموعة، ليكتب التركيــب الكيميائي العام لمعادن مجموعة كــ(2SiO4) (Fe,Mg). هــذا يعنى أن نســبة الحديد والماغنســيوم تختلف من معدن لآخر في هــذه المجموعة كما هو موضــح في الجــدول (3 - 1). ولكن يجب أن يكون الشــق القاعــدي (Fe and Mg) يكافئ مجموعهم الشحنات الأربع السالبة لشق السليكات في ال (Tetrahedral).



4 - مجموعة معادن البيروكسين Pyroxenes

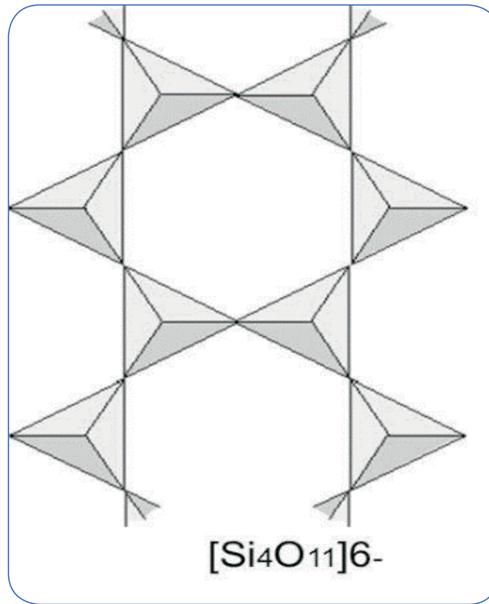
تتكون هذه المعادن من التركيب لسيليكات الماغنسيوم والحديد والكالسيوم مع أيونات التتراهيدرال الرباعية الأوجه (SiO_4) كشق حامضي (الأنيون) (الشكل 3-2) ومن بين هذه المعادن معدن الأوجيت ($Mg,Fe,Al,Ti\ Si_2O_6$) (Ca,Na) المعدن الشائع فى هده المجموعة الذي يتميز بلونه الداكن الأسود المخضر، او البني الغامق اللون. وكذلك معدن الهيبرسين (Hypersthene) الذي يرمز له كيميائياً بالمعادلة ($Fe,Mg\ Si_2O_6$). وتنقسم مجموعة معادن الباريوكسين إلى مجموعتين، المجموعة الأولى هي عبارة عن مجموعة كلينوبايروكسين(Clinopyroxene) التي تتبلور بنظام أحادي الميل (Monoclinic Crystal ystem)، والمجموعة الأخرى تمثل مجموعة معادن الأرثوبايروكسن(Orthopyroxene) التي تتبلور معادنها بنظام البلوري المعيني القائم (Orthorhombic Crystal System).

وتعد معادن مجموعة البايروكسن من أكثر المعادن الأساسية انتشارا في كثير من الصخور النارية و الصخور المتحولة.

الشكل (3-2) : يوضح إتحادوإرتباط الأوجه الرباعية ($(Teterahedral, (SiO_3)^{-2}$ السليكاتية مع العناصر الكيميائية الفلزية لتكوين معادن المجموعة في سلسلة أحادية

5 - مجموعة معادن الأمفيبول Amphiboles

مجموعة هذه المعادن ذات اللون الغامق تلي مجموعة معادن البيروكسـين في النشـأة والتبلور ضمن التفاعلات الكيميائية للمعادن السليكاتية المتقطعة في سلسلة بوين، ويكون الشق الحمضـي لمجموعة معادن الأمفيبول سلسلة مضـاعفة (مزدوجة) من أشكال التتراهيدرال الرباعية الأسطح، الممثلة بالتركيب الكيميائي $(Si_4O_{11})^{6-}$ (الشكل 3-3). وهذه المعادن تشبه معادن البيروكسين لدرجة يصعب أحيانا التفريق بينهما، إلا أنها تحتوي على سلسلة مزدوجة من السـيليكات وأيون الهيدروكسـيل. يعتـبر معدن الهورنبلنـد (Hornblende) ذي اللون الأسود والذي يرمز له بالرمز $CaMg)\ (FeAl)\ Si_8O_{22}(OH)_2)$ هو أحد معادن الأمفيبول.



الشكل (3-3) يوضح إتحاد وإرتباط الأوجه الرباعية (Teterahedral, $(Si_4O_{11})^{-6}$) السليكاتية مع العناصر الكيميائية الفلزية لتكوين معادن الأمفيبول في سلسلة مضاعفة

6 - مجموعة معادن المايكا Mica Group

ومجموعـة هـذه المعادن تلي معادن الأمفيبول فى التبلور من الصـهارة. ويشـكل الشـق الحمضي لمعادن الميكا صفحة من الأشكال الرباعية الأوجه، ويمكن تمثيل التركيب الجزيئى



لهذه الصفحة بالرمز $(Si4O10)^{4-}$. تتكون هذه المعادن من سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم والحديد مع أيون الهيدروكسيل والفلور، والصفة المميزة للمايكا هى أنها تتواجد على شكل صفائح رقيقة جدا، ولها انعكاس ضوئي عالي. ومن أهم معادن الميكا معدن البايوتيت (biotite) ,K2(Mg,Fe)2(SiAl)O10(OH)2) ذات اللون الأسود، وهو يشتمل على بوتاسيوم ومغنسيوم وحديد في شقه القاعدي. أما المعدن الثاني والرئيسي في مجموعة الميكا هو معدن المسكوفايت (Muscovite، $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$) الفاتح اللون ويشتمل على بوتاسيوم وألومنيوم في شقة القاعدي.

7 - معادن الفلسباثويد Feldspathoids:

وهذه المعادن تشبه معادن الفلسبار إلا أن نسبة السيليكا فيها أقل، ومن أهم هذه المعادن معدن اللوسايت (Leucite، $KAlSi_2O_6$).

8 - المعادن الطينية Clay minerals

وهى معادن لا تتبلور مباشرة من الصهير كالمعادن السابقة، ولكنها تتكون نتيجة لعوامل التعرية الكيميائية على معادن السليكات المختلفة. ويتكون الشق الحمضي للسيليكات فى المعادن الطينية من السليكون والأكسجين فقط، أما الالومنيوم فيشكل جزءاً من شقها القاعدي. ويدخل فى تركيب المعادن الطينية أيضا نسبة من الهيدروكسيل(OH)، وهى تتواجد على هيئة صخور رسوبية ومن أهم أنواعها المعدنيةالبنتونيت ($Ba TiSi_3O_9$) والكاولينيت ($Al_2Si_2O_5(OH)_4.2H_2O$).




كوارتز


بلاجيوكليز


اورثوكليز


فايلايت


أوجايت


أوليفين


هورنبلند


ماسكوفيت

الشكل (3-3): يوضح بعض المعادن السيليكاتية



2-3-3 المعادن غير السيليكية

هذه المعادن لا تدخل السليكات الرباعية في تركيبها ، وتعد هذه المعادن من أقل المعادن انتشار في الكرة الأرضية، مقارنة بالمعادن السليكاتية، و تشكل فقط 8% من إجمالي معادن القشرة الأرضية. وهذه المعادن توجد إما منفردة كالذهب والنحاس، أو معادن (خامات معدنية حال كونها ذات جودة اقتصادية) على هيئة أكاسيد وكبريتيدات وكبريتات وهاليدات وفوسفات نوجزها كما يلي:-

1 - أكاسيدالمعادن Mineral Oxides

تشكل أكاسيد الحديد الجزء الأكبر من الأكاسيد الفلزية فى الطبيعة، ومن أهم هذه المعادن معدن الهيماتيت (Hematite) ذا اللون الأحمر، مكون ويتكون من أكاسيد الحديد المؤكسد الذي يحمل ثلاث شحنات موجبة Fe^{+++} (أيون حديديك) وتركيبه الكيميائي Fe2O3 (الشكل 3-4)، ومعدن الليمونيت (limonite، $FeO.OH.nH_2O$) الذي يحتوى على عدة جزيئات من الماء فى تركيبه البلوري ولونه يتراوح بين الأصفر والبني. وهناك أيضا معدن الماجنتيت (Magnetite، Fe_3O_4) ، الأسود اللون، وهو يتبلور من الصهارة فى درجات عالية من الحرارة والضغط الشديد. ويحتوى جزئ الماجنتيت على أيون من الحديد الثنائي التكافؤ Fe^{++} وأيونين من الحديد الثلاثي التكافؤ وتركيبه الكيميائي Fe3O4 وهو يتأثر وينجذب مغناطيسيا.

2 - مجموعة الكبريتيدات Sulfides

يعتبر من أكثر المعادن الفلزية الاقتصادية ضمن هذه المجموعة. معدن البيريت (Pyrite) ذات اللون الذهبى، ويطلق عليه الذهب الكاذب وهو يتكون من كبريتيد الحديدوز (Iron sulfide (FeS_2). وهناك أيضا معدن الكالكوبيريت Chalcopyrite الذى يحتوى أيضا على عنصري النحاس والحديد (CuFeS2)، ومن معادن هذه المجموعة أيضا معدن الجالينا Galena الذى يحتوى على الرصاص (PbS)، ومعدن السفاليريت Sphalerite الذى يحتوى على الزنك ZnS، تتبلور أو تتكون جميع معادن هذه المجموعة بفعل المحاليل الحارة Hydrothermal Solution.



3 - معادن المتبخرات (الكبريتات Sulfates)

تتكـون هـذه المعـادن من تبخـر محاليل مائية فـوق سـطح الأرض، مثل معـدن الجبس ذا التركيـب الكيميائـي الممثـل لكبريتات الكالسـيوم المائيـة الحاوية على جزيئـي من الماء ($CaSO_4.2H_2O$Gypsum) ، ومعـدن الأنهيدريـت الذي يماثل معـدن الجبس في التركيب الكيميائي إلا أنه يفتقر أو لا يحوي الجزيئات المائية (Anhydrite - $CaSO_4$).

4 - معادن الكربونات Carbonates Minerals

تتكـون معادن الكربونات من محاليل مائية فوق سـطح الأرض مكوِنة صـخورا رسـوبية كيميائيـة وعضـوية، مثـل معـدن الكالسـيت (Calcite- CaCO3) ، ومعـدن الدولوميـت (Dolomite –$CaMg(CO_3)_2$)

5 - مجموعة معادن الهاليدات Halides

مجموعـة معـادن الهاليـدات تتكون عند إرتبـاط عناصـر الهالوجينـات الفلورايد (F^-) و كلورايـد(Cl^-) ،برومايـد(Br^-) ، الأيودايـد(I^-) وغيرهـا مـع العناصـر الكيميائيـة الفلزية كالصـوديوم لتكـون معدن الهاليـت ملح الطعـام (Halite – NaCl) ،و معـدن h الفلورايت (Fluorite CaF2) ، عليـه فـإن هـذه المعادن تتكـون من إتحاد الهالوجينات مع العناصـر الفلزية من المحاليل مائية.

6 - مجموعة معادن الفوسفات Phosphates Minerals

تتكون معادن الفوسـفات من رواسب عضوية من تراكم هياكل الفقاريات، ومن أشهرها معدن الأباتيت (Apatite Ca5(PO4)3 . (F,Cl,OH).



جبس	أنهيدريت
بيريت	سفاليريت
دولوميت	ذهب
هاليت	اباتيت

الشكل (4-3): يوضح بعض المعادن غير سيليكاتية



4-3 الخواص الفيزيائية للمعادن

هنــاك العديــد من الطــرق الفيزيائيــة للتعرف على المعادن والكشــف عنهــا، وليس من الضروري إجراء التحاليل الكيميائية أو استخدام الأجهزة المتقدمة التي تستغرق وقتاً طويلاً للتعــرف على عينــات المعادن، إذ بمكن الكشــف والتعرف عليها بموجــب أو من خلال الوزن النوعــي، المخدشــ، الصــلابة، الخواص المغناطيســية، الرائحة، المذاق، اللــون وغيرها من الخواص التي يتم تفصيلها على النحو التالي :

1- اللون Color

تختلف أهمية خاصــية اللون بالنســبة للمعادن، فقد يكون لــون المعدن من أهم الخواص الطبيعية للتعرف على بعض المعادن الثابتة كالكبريت (Sulphur) ذو اللون الأصــفر الفاقع أو معدن الماجنتيت ذو اللون الأســود ومعدن البايريت بلونه الأصــفر البرونزي. بينما يظهر قسم آخر من المعادن بألوان مختلفة بسبب احتوائها على شوائب ملونة، فمثلاً الكوارتز النقي عديم اللون، ويظهر بلون وردي أو بنفســجي، أو قد يكون شفافاً. ويرجع ذلك إلى تغيُّر ضئيل فى نســبة الشــوائب التى تتخلل التركيب الداخلي لبلورات هذا المعدن. وقد توجد الشــوائب الملونة في طبقات أو حلقات منتظمة تكســب المعــدن جاذبيةً وجمالاً، وبذلك لايمكن الاعتماد الكامــل على خاصــية اللــون بمفردها للتعرف على المعــادن، لأن وجود أى شــوائب ولو كانت بســيطة، ســيكون لها تأثير على اللون وبالتالي ســيؤثر في التعرف على نوع المعدن. وبالتالي يمكن تقسيم المعادن على بناءًا على ألوانها إلى ثلاثة أنواع أساسية هى:

أ- المعادن الأصلية اللون Idiochromatic Minerals

وهــى المعــادن التــى يكــون اللون هــو الممثــل و المميــز كمعــدن الأزورايــت(– Azurite $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$) ذا اللون الأزرق الغانق، و معدن الســينيبار (Cinnbar- HgS) ذا اللون الأحمر الطوبي، يرجع تلون هذه المعادن إلى تواجد بعض العناصــر الكيميائية الأساسيةالتي يتضمنها تركيبها الكيميائي، ومن أمثلة هذه العناصر الكروم والكوبالت والنحاس والفاناديوم والمنجنيز والتيتانيوم ، وجميعها عناصر انتقالية.



ب- المعادن متغيرة اللون Allochromatic Minerals

نجد في هذا النوع من المعادن أن بلورات المعدن الواحد يظهر العديد من الألوان. ويعزى ذلك إلى وجود شوائب لتواجد بعض العناصر الكيميائية التي تتواجد بنسب ضئيلة جدا في البناء الذري الداخلي الفراغي للمعدن (Lattice)، ولا يعتبر بعد وجود هذه العناصر أساسيا في التركيب الكيميائي المعدني للمعدن. ومن أمثلتها معدن الكوارتز والذي يظهر بعدة الوان، كاللون الوردي أو اللون الرمادي أو اللون البنفسجي أو للون الابيض أو كمعدن شفاف.

ج- المعادن كاذبة اللون Pseudo chromatic Minerals

في هذه المجموعة من المعادن يظهر لونها كلون كاذب ولا يظهر اللون الحقيقي المميز لها، حيث تعكس بلورة المعدن الواحد ألوانا مختلفة كالأزرق والأصفر والأخضر والأحمر. وهذه الألوان ناتجة عن انعكاس الضوء عن سطح المعدن عند رؤيتها بزوايا تتغير ألوان المعدن من خلاله، وتسمى هذه الظاهرة باسم إردسينسيس(Iridesccence). ومن أمثلة هذه المعادن معدن اللابرادوريت(Labradorite) $(Na, Ca)_2Si_2O_8$ –) ذا اللون الرمادي المخضر أو ذا لون رمادي مع لون أسود.

2- المخدش Streak

هو لون مسحوق المعدن الذي يظهر به عند حك المعدن على سطح لوح خزفي خشن. وقد يختلف هذا المسحوق عن لون المعدن نفسه وهو دائما ثابت، وهذه الصفة تعتبر من أهم الصفات المميزة لبعض المعادن، فمثلاً معدن الهيماتايت مخدشه أحمر بني، رغم أن لونه قد يكون بنيا أو أحمر أو أسود أو رصاصي اللون.

3- البريق Luster

بريق المعدن يقاس بمقدار الضوء المنعكس من سطح المعدن وكذلك نوع هذا الضوء، وينقسم البريق إلى:

أ- بريق معدني Metallic Luster

تتميز بهذا البريق سطوح المعادن العنصرية كالذهب والفضة والمعادن الكبريتيدية مثل البايرايت والجالينا.



ب- بريق غير معدنى Non-metallic Luster

ويشمل هذا النوع من البريق الأنواع التالية:

- بريق زجاجي (Vitreous) مثل الكوارتز والكالسيت.
- بريق ألماسي (Adamantine) مثل الألماس.
- بريق صمغي (Resinous) مثل بريق الكهرمان.
- بريق لؤلؤي (Pearly) يشبه بريق اللؤلؤ كمعدن الميكا.
- بريق حريري (Silky) مثل الجبس الليفي.
- بريق شحمي (Greasy) مثل معدن الكبريت.
- بريق معتم أو باهت (Dull) ويكون سطح المعدن غير براق مثل الكاولينايت.

4- الشفافية Transparency

تعرف الشفافية بقدرة المعدن على تمرير الضوء من خلاله، ويمكن أن تقسم المعادن من حيث درجة الشفافية إلى ثلاثة أنواع وهي:

1 - الشفافة (Transparent) مثل الكوارتز والذي يمر الضوء من خلاله.
2 - نصف شفافة (Translucent) مثل الأوبال والذي يسمح نسبيًا بمرور الضوء.
3 - معتمة (Opaque) مثل البيريت أو المجناتيتوالتي لا تسمح بمرور الضوء من خلالها.

5- عرض الألوان Play of Colours

تسمى هذه الخاصية أيضاً بتلاعب الألوان، حيث يعطي المعدن ألواناً مختلفة عند دوران المعدن ببطء أو عند تحريك العين بالنسبة للمعدن ناحية اليمين أو اليسار. ومن أمثلة المعادن التي تبدي هذه الظاهرة معدن الألماس.

6- الإضاءة Luminescence

بعض المعادن لها القدرة على الإشــعاع الضــوئي أي تعطي ضــوء إذا تعرضت للحرارة أو الأشعة مثل معدن الفلوريت.



7- الصلادة Hardness

تعرف الصــلادة على أنها مقاومة ســطح المعدن لعملية الخدش، وهي من أهم الصفات التي يمكن أن تساعد على معرفة وتمييز قسم كبير من المعادن، فعند حك معدن بآخر، يتسبب المعـدن الأكثر صــلابة فى خدشــ المعدن الآخر. ويمكن تعيين صــلادة أي معدن باســتخدام مقياس خاص يعرف بمقياس موه للصلادة (Moh›s Scale). يبين الجدول(3-2) مقياس موه للصــلابة. وتســتخدم معادن هذا المقياس (المعلومة الصــلادة) كدليل قياســي للتعرف على معدن مجهول. وفى هذا المقياس مثلا، نجد الكوارتز الذى صلادته 7 يخدش الكالسيت والاباتيــت. وهــذا المقياس يبدأ من 1 وهو التلك، وهو أنعم معدن، حيث يســتعمل كمســحوق (بودرة) للأطفال، وينتهي عند 10 بالألماس وهو أصــلب معدن. والجيولوجي عادة ما يعتمد على بعض الأدوات الشــائعة التى يســتخدمها بــدلا من حمل هذه المعادن فــى الحقل، وهذه الأدوات تتميــز برقــم صــلادة قريب من هذه الأرقام القياســية. يبين الجــدول (3-3) هذه الأدوات الشائعة ورقم صلادتها.

الجدول (3-2): يبين مقياس موه للصلابة (Moh’s Hardness Scale)

اسم المعدن	Mineral Name	التركيب المعدني	درجة الصلادة
تلك	Talc	سيليكات المغنسيوم	1
جبس	Gypsum	كبريتات الكالسيوم المائية	2
كالسيت	Calcite	كربونات الكالسيوم	3
فلورايت	Fluorite	فلوريد الكالسيوم	4
أباتيت	Apatite	فوسفات الكالسيوم	5
أورثوكليز	Orthoclase	سيليكات البوتاسيوم والألومنيوم	6
كوارتز	Quarts	ثاني أكسيد السليكون	7
توباز	Topaz	سيليكات الألومنيوم والفلور	8
كورا ندم	Corundum	أكسيد الألومنيوم	9
ألماس	Diamond	كربون نقى	10



الجدول (3-3) : يوضح الأدوات الشائعة كمقياس لدرجة صلابة المعدن

الأدوات	درجة الصلابة	الأدوات	درجة الصلابة
لب قلم الرصاص	1	سكين جيب أو قطعة زجاج	أقل من 5
ظفر الإصبع	2.5	مبرد أو لوحة المخدش	7-6
قطعة نقود نحاسية	4-3		

8- الانفصام Cleavage

يعرف الانفصام على أنه قابلية المعدن للتشقق والانقسام إلى أجزاء في اتجاهات معينة، ومنتظمة تمثل أوجه البلورات وتسمى مستويات الانفصام، وتعتمد على التركيب الداخلي لجزيئات المعدن. فعند كسر معدن أو الضغط عليه، ينتج عن ذلك سطوح ملساء منتظمة الأبعاد. وهناك بعض المعادن ليس لها انفصام، بينما البعض الآخر له عدة مستويات للانفصام. ويجب أن لا نخلط بين الأوجه البلورية ومستويات الانفصام، مثلا مكعب معدن الهاليت له ستة أوجه بثلاثة مستويات انفصام، لأن الأوجه الستة كل اثنين منها في وضع التوازي، لذا تكون ثلاث مستويات للانفصام فقط. ويوجد عدة أنواع من الانفصام التالية والموضحة بالشكل (3-5):

1 - معدن أحادي الانفصام كما في الماسكوفيت.
2 - معدن ثنائي الانفصام كما في الفلسبار.
3 - معدن ثلاثي متعامد الانفصام كما في الهاليت.
4 - معدن ثلاثي معيني الانفصام مثل الكالسيت .
5 - معدن منعدم الانفصام كمعدن الكوارتز.



Cleavage in one direction - Example: Muscovite

Cleavage in two directions - Example: Feldspar

Cleavage in three perpendicular directions - Example: Halite

Cleavage in three non perpendicular directions - Example: Calcite

الشكل (5-3): يبين خاصية الانفصام في المعادن (After Klein &Dutrow, 2007)



9- المكسر Fracture

هو شكل السطح الذي ينكسر عليه المعدن، وهو غير سطح الانفصام، حيث تتكسر بعض المعـادن في اتجاهات مختلفة خلاف مستويات الانفصام (الشكل 3-6)، وفي هذه الحالة يوصف المكسر كالآتي:

1 - مستوي Even عندما يكون أملس تقريباً.

2 - غير مستوي Uneven عندما يكون سطح المكسر خشن.

3 - مسنن Hackly عندما يكون السطح الناتج ذا بروز أو نتوءات.

4 - محاري Conchoidal عندما يكون السطح الناتج شبيهاً بالشكل الداخلي لصدفة المحار.



الشكل (3-6): يوضح خاصية المكسر في المعادن (after Klein &Dutrow, 2007)

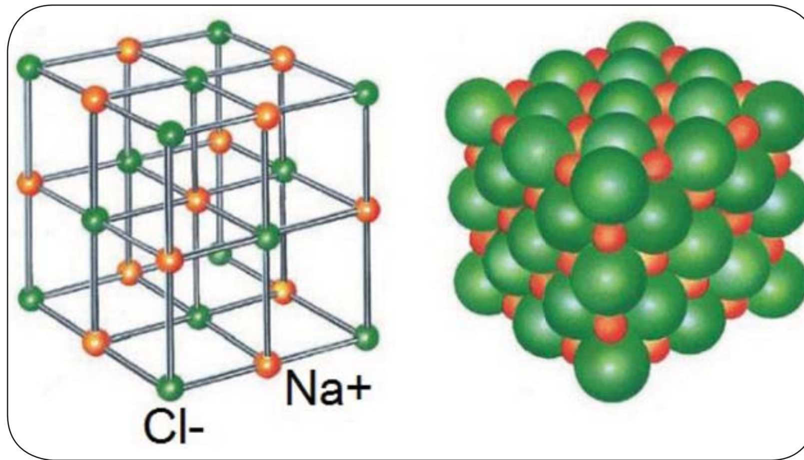
10- الكثافة النوعية Specific Gravity

تُعرف الكثافة النوعية بأنها النسبة بين وزن حجم معين من المادة، إلى وزن نفس الحجم من الماء المقطر النقي في درجة حرارة 4 مئوية. ويمكن تقدير كثافة المعدن عن طريق تقدير وزنه باليد، فيعرف المعدن على أنه خفيف إذا كان ينتمي إلى مجموعة المعادن التي يبلغ وزنها النوعي 2.5، ومتوسط إذا كان ينتمي إلى مجموعة المعادن التي يبلغ وزنها النوعي بين 2.5 – 4، وثقيل إذا كان الوزن النوعي أكثر من 4.5.



11 – الشكل البلوري Crystal Form

معظـم المعادن لها شـكل بلوري مميز، وهذا الشـكل مـا هو إلا مظهـر يعكس البنية الداخليـة لهـذا المعـدن، أي ترتيب ذراته التي يتكـون منها. فمثلا بلورة ملـح الطعام المبينة بالشكل (3-7) والتي تتألف من عنصري الصوديوم والكلور، تأخذ شكل مكعب له ستة أوجه منتظمـة الشـكل، وتتخذ ذرات هذين العنصـرين مراكز هندسـية ثابتـة في البنية البلورية الداخلية، والتي تحدد شـكله العام. ولقد بينت الدراسـات أن نظام البلورات وأصـنافها هي أحد الخواص الفيزيائية الأساسـية في تحديد المعدن. لذا سـنتطرق بشـيء من الاختصـار عتلتعريف البلورة وعناصـر التماثل والأنظمة البلورية وأصـنافها دون أي تفصـيل أكثر عن هذه الأنظمة البلورية ومعاملات ميللر.



الشكل (3-7): يبين النظام البلوري لبلورة ملح الطعام

12- تعريف البلورة Crystal Definition

البلورة هي جسـم صلـب محاط بأوجه مسـتوية ومنتظم الشـكل، وهذا الانتظام يعكس ترتيب الذرات الداخلية (Internal Structural)، وتنشـأ البلورات من تصـلّب المعادن من الحالة الغازية أو السـائلة (نارية المصدر) أو نتيجة للترسـب الكيميائي من المحاليل المائية (رسوبي المصدر). ولكل معدن شكل بلوري خاص به، فمنها ما تتميز بكونها ثنائية الشكل، أو



متعددة الأشـكال مع أن تركيبها الكيميائي واحد، مثل الكالسيت والأراجونايت، الجرافيت، والماس. فالمعدن يجب أن يحمل صفة التبلور، فالمادة المتبلورة هي المـادة التى تكون ذراتها منتظمة فى ثلاثة أبعاد متناسـقة ومتكررة بترتيب منتظم. والبلورات تتميز بأشـكال بلورية خاصة ومحاور بلورية تساعد فى تصنيفها.

13- التماثل في البلورة Crystal Symmetry

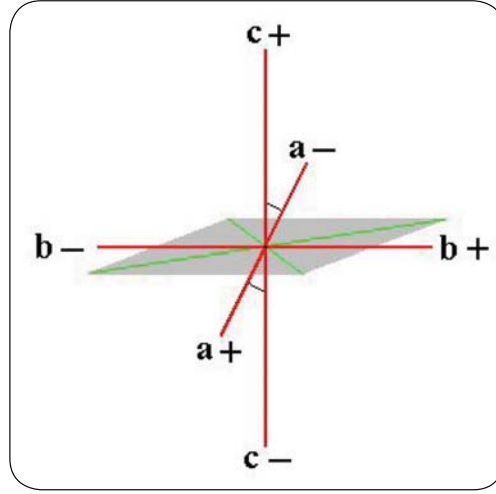
التماثـل في البلـورة تعبير عـن انتظام مواقع الأوجه المتشـابهة والحافـات وكافة أجزاء البلـورة الأخـرى. ودرجة التماثل أو التطابق في البلورة هو الـذي النماذج المختلفة للبلورات. ويحدد التماثل في البلورة بالنسبة إلى ثلاثة عناصر تماثلية هي:

1 - مستوى التماثل (Plane of Symmetry).
2 - محور التماثل (Axis of Symmetry).
3 - مركز التماثل (Center of Symmetry).

14- المحاور البلورية Crystallographic Axes

محاور التماثل عبارة عن خطوط وهمية تتقاطع فى مركز البلورة (الشكل 3-7)، والمحور العمودى هو أحد محاور التماثل، حيث إذا دارت حوله البلورة 360^0 فإن الأوجه تتكرر، ويأخذ كل وجـه مـكان الآخر، بحيـث لا يمكن التفرقة بين الوضـع الأول وبين أى وضـع جديد. وقد أصطلح على تعيين أي مستوى (سطح) في الهندسة الفراغية المجسمة بالأجزاء التي يقطعها هذا المستوى لثلاثة محاور سميت بالمحاور البلورية a,b,c (الشكل 3-8) وأحيانا أربع محاور بلوريـة ثلاثة منهـا أفقية والرابع رأسـي، حيث أمكن وصـف هذه المسـتويات البلورية بأدلة عددية تسمى معاملات ميلر.





الشكل (3-8): يوضح المحاور البلورية التخيلية التي تتقاطع في مركز البلورة

وتلتقي المحاور في نقطة واحدة تسمى المنشأ أو نقطة الأصل. وهذه المحاور إما أن تكون متساوية الأطوال أو غير متساوية، وأحياناً تكون مختلفة الأطوال ومتعامدة أو مائلة. ولبعض البلورات أربعة محاور، ثلاثة منها أفقية كما هو الحال في بلورات النظام السداسي والثلاثي. والزوايا التي تتكون من تقاطع هذه المحاور تعرف بألفا (α) وبيتا (β) وجاما (γ)، حيث α هي الزاوية المحصورة بين المحورين c, b وتكون الزاوية β هي الزاوية المحصورة بين المحورين a،c والزاوية γ هي الزاوية المحصورة بين المحورين a, b، مع الأخذ في الاعتبار أن هناك بعض الأنظمة تحتوي على ثلاثة محاور أفقية.

15- النظم البلورية Crystal Systems :

يمكن تصنيف البلورات إلى أنظمة مختلفة استناداً إلى العلاقات التي تربط المحاور البلورية من ناحية الطول والتعامد أو الميل، والزوايا التي تقع بين هذه المحاور البلورية، وتصنف هذه الأنظمة البلورية المعدنية للمعادن المختلفة (شكل 3-9) إلى ستة أنظمة كالتالي:

1. نظام المكعب (Cubic Crystal System):

تحتوي بلورة المعدن في هذا النظام على ثلاثة محاور بلورية متساوية الطول، والزوايا بينهم متساوية وتساوي 90° أي أن $\alpha = b = c \;\&\; \alpha = \beta = \gamma = 90^o$



2. النظام الرباعي (Tetragonal Crystal System):

تحتوي بلورة المعدن في هذا النظام على ثلاثة محاور بلورية متعامدة والمحوران الأفقيان متساويان ، بينما يكون المحور الثالث الرأسي إما أطولاً أو أقصر منهما ، أي أن $a = b \neq c$، بينما جيمع الزوايا بين المحاور تساوي $\alpha = \beta = \gamma = 90°$.

3. النظام البلوري السداسي (Hexagonal Crystal System):

هــذا النظام تحتــوي البلورة علــى أربعة محاور بلوريــة، ثلاثة منها أفقيــة (a_1،a_2،a_3) متساوية الأطوال ومتعامدة مع المحور الرأسي، وتكون الزوايا بينهم متساوية وتساوي 120^0، أي أن $a_1 = a_2 = a_3 \neq c, \alpha = \beta = 90^0 \neq \gamma = 120^0$.

4. النظام البلوري الثلاثي (Trigonal Crystal System):

في هــذا النظــام تحتــوي بلــورة المعدنعلــى أربعــة محــاور بلوريــة، ثلاثــة منهــا أفقيــة (a_1،a_2،a_3) متســاوية الأطــوال، غــير متعامــدة مــع بعضــها ومــع المحــور الرأســي أي أن $a_1 = a_2 = a_3 = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^0$.

5. النظام البلوري المعيني القائم (Orthorhombic Crystal System):

في هذا النظام احتوي بلورة المعدن على ثلاثة محاور بلورية غير متساوية بينما تكون بين هذه المحاور عمودية $a \neq b \neq c \,\&\, \alpha = \beta = \gamma = 90^0$

6. النظام البلوري أحادي الميل (Monoclinic Crystal System):

في هــذا النظــام تحتــوي بلورة المعــدن على ثلاثــة محاور بلوريــة غير متســاوية، حيث المحور الرأســي c يكون مائــلا على المحور a، أما المحور b يكون عمــودي على كل من المحور a and C ، أي أن تكون $a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90, \beta > 90$.

7. النظام الثلاثي الميل (Triclinic Crystal System):

في هذا النظام يحتوي بلورة المعدن على ثلاثة محاور بلورية غير متساوية وغير متعامدة أي أن تكون $a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90$.



P
ثلاثي الميل
$(\alpha \neq \beta \neq \gamma; a \neq b \neq c)$

P I
أحادي الميل
مكافئ لـ C
$\alpha = \gamma = 90°(\neq \beta; a \neq b \neq c)$

P C F I
نظام مستقيم
$\alpha = \beta = \gamma = 90° (a \neq b \neq c)$

P I
نظام رباعي
$\alpha = \beta = \gamma = 90° (a \neq b \neq c)$

P or C
نظام سداسي
$\alpha = \beta = 90°; \gamma = 120°$
$a = b (\neq c)$

R
نظام معيني
$\alpha = \beta = \gamma = 90°;$
$a = b = c$

P F I
متساوي الأضلاع
$\alpha = \beta = \gamma = 90°;$
$a = b = c$

الشكل (3-9): يوضح الأنظمة البلورية (أشكالها و محاورها و زواياها) المختلفة (after Klein &Dutrow, 2007)



12 - صفات معدنية أخرى

هناك صـفات طبيعية أخرى مختلفة تتميز بها بعض المعادن مثل خاصـية المغناطيسـية التـي يتميز بهـا البعض كمعدن المجناتيت، والمـذاق الملحي المميز لمعـدن الهاليت، والرائحة المميزة لمعادن الفوسـفات والطين، والإنكسار المزدوج للكالسيت النقي، والخواص الإشعاعية لبعض المعادن مثل اليورانيت والمونازايت.



الفصل الرابع

علـــم الصخـــور

Petrology

4-1 مقدمة

يعرف الصـــخر بأنه مادة صـــلبة نشـــأت طبيعيا وتتكون من معدن واحد أو من مجموعة مـــن المعـــادن التي تراكمـــت في مكان واحد نتيجة لظـــروف تكوين معينة. فمثـــلا ملح الطعام (NaCl) يتكون من معدن واحد، وهو (كلوريد الصوديوم)، بينما الجرانيت Granite يتكون أساســـا من عدة معادن وأهمها الفلســـبار والمرو والميكا. المنكشـــفات الصـــخرية سواء كانت على ســـطح الأرض أو بداخلها تشكل الســـجل الوحيد لتاريخ الأرض، فكل صخر يملك تاريخ خاص به ويحمل بين طياته قصـــه ممكن أن تروى. ويرجع تاريخ الدراســـات الصـــخرية إلى بداية القرن التاســـع عشـــر. ففي عام 1827م تمكن العالم وليام نيكول من تحضير قطاعات مجهريـــة لبعض الصـــخور. وفي عـــام 1831م اخترع هذا العالم منشـــور نيكول لاســـتحداث



الضـوء المستقطب في المجهر الذي نهض بدراسـة الصخور نهضة عظيمة. وفي خلال الفترة 1850-1890م شـهد هذا العلم تقدما واضـحا حيث أمكن بواسطة المجهر دراسة وتوضيح الصـفات الدقيقة والمميزة لكثير من الصـخور التي لا تظهر مثل التركيب المعدني للصـخر والنسيج وكذلك دراسة ومعرفة أصل تكوين الصخر.

2-4 السلم الجيولوجي Time Scale

يعرف السـلم الجيولوجي بمصـطلح يطلق علـى التتابع الكامل لجميع الصـخور المكونة للقشـرة الأرضية منذ العصور الجيولوجية القديمة، حتى العصور الحديثة. وهو مقسم بناءً على مجموعات الاحافير المتواجدة في الصـخور التي على أساسها يشار لأي صخر بأنه يعود إلى زمـن معـين من الأزمنة الجيولوجيـة كما هو مبين بالجدول (1-4). يوضـح الجدول أن السـلم الجيولوجي مقسـم الى ثلاثة دهور ابتدأ فيها تواجد الكائنات ومن ثم بدأ تطورها. وهناك أيضـا زمن ما قبل الكامبري وهو خالي من الحياة ويمتد من بداية نشـأة الأرض الى بداية ظهور أول الكائنات الحية. والدهور الثلاثة بدورها تقسم الى عصور، وكل حين يتميز بظهور أنواع من الكائنات الحية التي كانت سائدة أو انقرضت.

1 - زمن ما قبل الكامبري: Precambrian

تنتمي الصـخور المتكونة قبل ابتداء العصـر الكامبري الى حقب ما قبل الكامبري. وهى صـخور خالية تقريبا مـن الاحافير. ويبدأ هدا الزمن منذ نشـأة الأرض حتى حوالي 600 مليون سـنة مضـت تقريبا، وهو يمثل أطول فترة زمنية في عمر الأرض. وتتكون أغلب صخور هذا الزمن من صخور نارية و متحولة تسمى صخور القاعدة.

2 - دهر الحياة القديمة: Paleozoic

يمتـد هـذا الدهـر مـن 600 - 225 مليون سـنة مضـت تقريبـا ويتميز هـذا الدهر بحدوث حركات أرضـية بانية للجبال أدت الى تكوين ما يعرف باسـم السلاسل الكاليدونية (Caledonian Chains) والسلاسـل الهرسينية (Hercynian Chains)، ويستفاد من هاتين الحـركتين التكتونيتين فى تقسـيم حقب الحياة القديمة الى قسمين وهما حقب الحياة القديمة المبكر ويشمل العصور التالية (الكامبري، الأوردفيشى ، السيلوري) وحقب الحياة القديمة المتأخر ويشمل العصور التالية (الديفوني ، الكربوني ، البرمي) :-



أ- الكامبري Cambrian : يمتد هذا العصر في الفترة بين 600-500 مليون سنة مضت تقريبا. شهد هذا العصر تطور الطحالب الوحيدة الخلية والتي تعود الى زمن ما قبل الكامبري، كما ظهر في هذا العصر القواقع الصدفية والرخويات وشوكيات الجلد والمفصليات. أما أميز الصفات الحفرية لهذا العصر وجود المرجان الرباعي (Tetracorallia) ، والترايلوبايت (Trilobites) كما هو موضح بالشكل (4-1) والتي اختفت مع نهاية دهر الحياة القديمة.



الشكل (4-1) : يبين ثلاثية الفصوص (Trilobite)

ب – الأوردفيشي: Ordevician يمتد هذا العصر في الفترة بين 500 – 430 مليون سنة مضت تقريبا، وشهد هذا العصر ظهور أول الجرابتوليت وانتشار الشعاب المرجانية. وأهم ما يميز هذا العصر ظهور فقاريات بدائية منعدمة الفك والعقارب البحرية عريضة الزعانف وأنواع مختلفة من الأسماك المدرعة وغير مدرعة.

ت – السيلورى: Silurian يمتد هذا العصر بين 430-395 مليون سنة مضت تقريبا. يتكون السيلورى في العادة من طفل (Shale) غنى بالجرابتوليت Graptolites والذي يدل على ترسيب في مياه بحرية عميقة. أما صخور هذا العصر فتتكون عادة من رمال تحتوى على كائنات تدل على ترسيب في بحار ضحلة. وشهد هذا العصر ظهور العقارب البحرية الضخمة، وظهور أنواع جديدة من الأسماك الفكية. وأهم ما يميز هذا العصر وجود النباتات البدائية.



ج – الديفونى: Devonian يمتد هذا العصر بين 395-345 مليون سنة مضت تقريبا ويحتوى على رسوبيات قارية فوق القارات القديمة تكونت نتيجة الحركات الأرضية الكاليدونية وبعض الرسوبيات البحرية. وشهد هدا العصر انتشار المرجان والإسفنج وظهور عضديات الأرجل وشوكيات الجلد والطيور السمكية. كما شهد ظهور البرمائيات عند نهاية هدا العصر.

ح – الكربوني: Carboniferous يمتد هذا العصر بين 345-280 مليون سنة مضت تقريبا. تميز هذا العصر بانتشار الغابات الاستوائية التي نمت في المستنقعات مما نتج عنها ترسب كميات كبيرة من الفحم (الكربون) في أماكن مختلفة من العالم. كما يتميز هذا العصر بتطور البرمائيات ومفصليات الأرجل الفقارية.

خ- البرمي: Permian يمتد هذا العصر في الفترة بين 280-225 مليون سنة مضت تقريبا وهو يمثل الصخور التي ترسبت في نهاية دهر الحياة القديمة والتي تكونت في بحار مغلقة في وسط أوروبا أو في ظروف قارية تكونت نتيجة للحركات الهرسينية. وتميز هذا العصر بتغير كبير في الأحوال البيئية، التي تميزت بالجفاف وتقلص الغابات وتكون الصحارى. كما شهد هذا العصر انقراض بعض الفقاريات مثل ثلاثية الفصوص.

3 – دهر الحياة المتوسطة: Mesozoic

يمتد هذا الدهر من 225- 65 مليون سنة مضت تقريبا. تحتوى صخور هذا الدهر على مجموعات مميزة من الحفريات. وتعتبر الآمونيدات المتطورة والزواحف الكبيرة من أشهر هذه الاحافير التي تركت آثارا في صخور دهر الحياة المتوسطة. كما شهد هذا الدهر انتشار المتبخرات والتي تعكس فترة طويلة من الجو الحار، وينقسم دهر الحياة المتوسطة الى ثلاثة عصور:-

أ- الترياسي: Triassic يمتد هذا العصر بين 225-190 مليون سنة مضت تقريبا. شهد هذا العصر تقلص الغابات وظهور أنواع جديدة من النباتات والحشرات مع تكون الأنهار والبحيرات. كما شهد هذا العصر بداية ظهور الديناصورات ثنائية الأرجل كما هو موضح بالشكل (4-2 أ). ومن أهم الاحافير التي تميز هذا العصر هى الأمونويدات Ammonoids المبينة بالشكل (4-3). كما شهد هذا العصر بداية حركة القارات الذي استمر حتى وقتنا هذا.

ب – الجوارسى: Jurassic يمتد هذا العصر من 190-136 مليون عام تقريبا. شهد هذا العصر ظهور الديناصورات رباعية الأرجل (الشكل 4 - 2 ب)، والنباتات المزهرة، وظهور الثدييات.



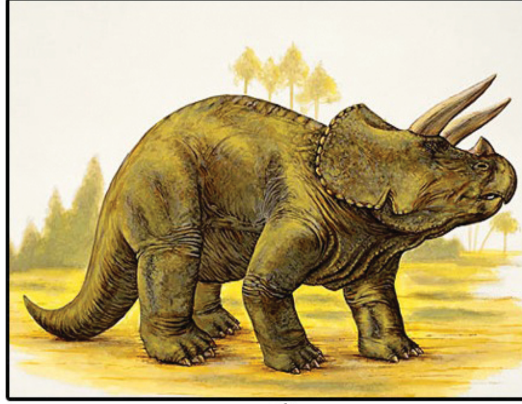
الجدول (4-1): يبين السلم الجيولوجي (after Eicher & Mc Alester, 1980)

العمر بملايين السنين	تطور النباتات والحيوانات	Epoch حين	Period عصر	Era حقب	Eon دهر
0.01	ظهور الانسان	Holocene الهولوسين	Quaternary الرباعى	Cenozoic الحياة الحديثة	Phanerozoic الحياة الظاهرة
1.8		Pleistocene البليستوسين			
5.3	عصر الثدييات	Pliocene البليوسين	Tertiary الثلاثى		
24		Miocene الميوسين			
37		Oligocene الاوليجوسين			
58		Eocene الايوسين			
65	انقراض الديناصورات والعديد من الأنواع الاخرى	Paleocene الباليوسين			
135	ظهور النباتات الزهرية	عصر الزواحف	Cretaceous الطباشيرى	Mesozoic الحياة المتوسطة	
180	ظهور الطيور		Jurassic الجوراسى		
225	سيادة الديناصورات		Triassic الترياسى		
265	بداية الزواحف	عصر البرمائيات	Permian البرمى	Paleozoic الحياة القديمة	
345	مستنقعات الفحم الضخمة، انتشار البرمائيات		Carboniferous الكربونى		
400	بداية الحشرات – سيادة الأسماك	عصر الاسماك	Devonian الديفونى		
430	بداية النباتات القارية		Silurian السيلورى		
500	بداية الأسماك	عصر اللافقاريات	Ordovician الاوردوفيشى		
570	سيادة ثلاثية الفصوص، بداية الكائنات الهيكلية		Cambrian الكمبرى		
2500	بداية الكائنات عديدة الخلايا			Precambrian ما قبل الكمبرى يشمل 87% من عمر الارض	Proterozoic البروتيروزوى
3800	بداية الكائنات وحيدة الخلايا، أقدم الصخور				Archaean الاركى
4000	نشأة الارض				Hadean الهاديان





(ب)



(أ)

الشكل (2-4): أ ديناصور ثنائي الأرجل (آكلات اللحوم)، ب ديناصور رباعي الأرجل (آكلات الأعشاب)



الشكل (3-4): يبين الأمونويد Ammonoid

ج – الكريتاسي: (الطباشيري) Cretaceous يمتد هذا العصر بين 136-65 مليون سنة مضت تقريبا. شهد هذا العصر أكبر تقدم للبحار عرفته الكرة الأرضية. وتتميز رسوبيات الكريتاسي بأنها تحتوى على كميات كبيرة من الطباشير وهذا سبب تسميته بهذا الاسم. شهد الكريتاسي استمرار تطور النباتات المزهرة عريضة الأوراق، كما شهد تطور العديد من الكائنات مثل اللافقاريات والأسماك والبرمائيات، كما شهد انقراض الديناصورات في نهاية هذا العصر.



4 – دهر الحياة الحديثة : Cenozoic

يمتد هذا الدهر من 65 مليون سنة مضت إلى الوقت الحالي. تحتوى صخور دهر الحياة الحديثة على مجاميع مميزة من الحفريات التي تشبه الى حد كبير الكائنات التي تعمر الأرض الآن. ومن أشهر الكائنات الحية التي تركت آثارا في صخور هذا الدهر هي الثدييات والطيور والنباتات الزهرية. وقد شهد هذا الدهر أيضا تراجعا كبيرا في انتشار الزواحف والأسماك الغضروفية. وينقسم هذا الدهر الى قسمين:

أ - العصر الثالث: Tertiary يمتد هذا العصر بين 65-2.5 مليون عام تقريبا وهو يشمل الأحين التالية (الباليوسين ، الأيوسين، الأولبجوسين ، الميوسين ، البلايوسين).

ب- العصر الرابع: Quaternary يمتد هذا العصر من 2.5 مليون سنة مضت وحتى وقتنا الحالي ويشمل حين البليستوسين وأشهر ما يميز هذا الحين هو ظهور الإنسان.

3-4 تقسيم صخور القشرة الأرضية Classification of Rocks

تنقسم صخور القشرة الأرضية إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي:

1-الصخور النارية Igneous Rocks

تتكون الصخور النارية نتيجة برودة الصهير الموجود في باطن الأرض وتصلبه إما داخل القشرة الأرضية أو فوق سطح الأرض.

2- الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks

تتكون الصخور الرسوبية من فتات صخور أخرى قديمة، ترسبت في طبقات قريبة من سطح الأرض. وهذا الفتات عبارة عن مواد صلبة ترسبت بواسطة الهواء أو الماء (مياه البحار والأنهار والبحيرات)، أو بواسطة الجليد والثلج.

3- الصخور المتحولة Metamorphic Rocks

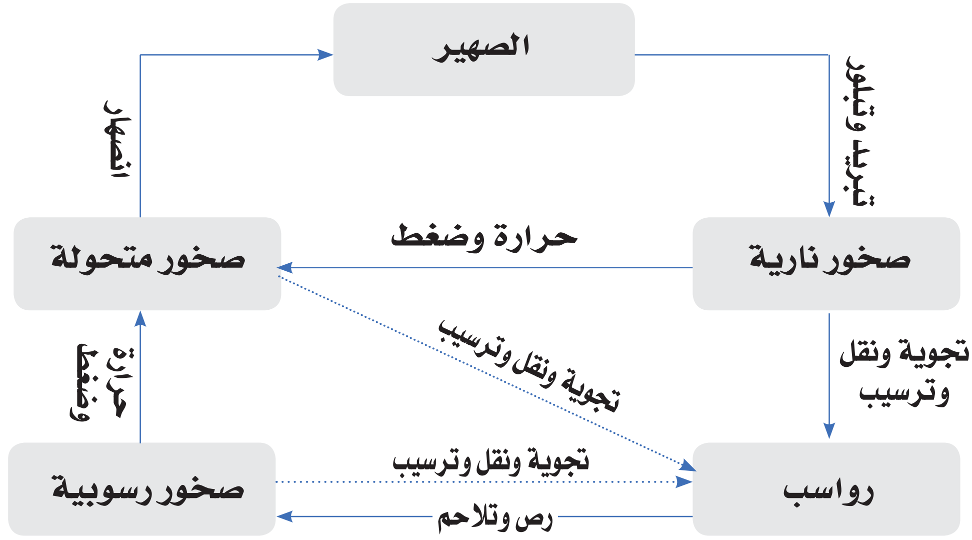
الصخور المتحولة هي تلك الصخور التي تعرضت للتغير نتيجة تأثير كل من الضغط والحرارة وبعض المحاليل الكيميائية على الصخور النارية أو الرسوبية أو حتى الصخور المتحولة قديما.



4-4 دورة الصخور Rocks Cycle

يعد مفهوم دورة الصخور أحد الأساليب لفهم العلاقات المتبادلة بين أنواعها الرئيسية، والعمليات المسؤولة عن تحويل نوع منها إلى آخر. وأول أنواع الصخور هي الصخور النارية التي تتكون عندما تبرد الماجما ثم تتبلور. و قد تحدث تحت سطح الأرض عملية التبلور هذه وينتج عنه الصخور النارية المتداخلة Intrusive Igneous Rocks، أو بعد خروج الماجما إلى السطح، على شكل ثوران بركاني، وينتج عنه الصخور البركانية المتخرجة Extrusive Volcanic Rocks. وعندما تصبح الصخور النارية مكشوفة على سطح الأرض، تتعرض للتجوية والتعرية، التي تعمل مع تعاقب الأيام على تفتيت هذه الصخور وتحليلها. وتنقل نواتج التجوية بواسطة عوامل التعرية المختلفة، مثل المياه الجارية، والجليد الزاحف، والرياح، والأمواج، ثم ترسب في المحيطات على شكل طبقات، ومن ثم تصبح صخوراً متماسكة بفعل ضغط ووزن الرواسب فوق هذه الطبقات أو بفعل ترسب المواد اللاحمة في المسام بين الرواسب. ويعرف هذا النوع من الصخور بالصخور الرسوبية Sedimentary Rocks. وكلما ازداد دفن هذه الصخور بطبقات أخرى من الرواسب، تتصلب هي الأخرى وتتحجر وتصبح صخور رسوبية أشد صلابة. وبفعل هذه التراكمات من الصخور يزداد الضغط والحرارة على الصخور السفلية. وإذا وصل الضغط والحرارة إلى درجات معينة، وعادة ما يكون هذا في الأعماق الكبيرة تحت السطح، فإن الصخور الرسوبية هذه تعانى من حالة عدم الاتزان وتتعرض حبيباتها لإعادة التبلور وهى في حالتها الصلبة وينتج عن ذلك صخور جديدة هي الصخور المتحولة Metamorphic Rocks. وعندما يزداد الضغط والحرارة على الصخور المتحولة، فإنها تتحول إلى صهير مرة أخرى ليعود ويتبلور هذا الصهير مرة ثانية على شكل صخور نارية، وبذلك تكتمل دورة الصخور وتنتهي من حيث بدأت، وقد تتكرر هذه الدورة كما هو مبين بالشكل (4-4). مع ذلك هذه الدورة للصخور ربما لا تكون كاملة بل قد تسلك بعض الطرق القصيرة على شكل أسهم متقطعة. فعلى سبيل المثال الصخور النارية ربما لا تتعرض للتجوية والتعرية وإنما تتعرض لضغط وحرارة عاليين فتتغير إلى صخور متحولة.





الشكل (4-4): يوضح دورة الصخور في الطبيعة

4 - 5 الصخور النارية Igneous Rocks

يعرف الصخر بصفة عامة بأنه مادة صلبة طبيعية تتكون من تجمع معدني من أكثر من معدن وفي أحوال محدودة يتكون من معدن واحد. ويطلق عليه في هذه الحالة بأنه صخر وحيد المعدن Monomineralic Rock. وتختلف الصخور فيما بينها اختلافا كبيرا ويتوقف هذا الاختلاف على عدة عوامل أهمها:

- المحتوى المعدني للصخر Mineral Content
- كيفية النشأة للصخر Mode of Origin
- كيفية التواجد Mode of Occurrence

الصخور النارية هي الصخور المتكونة نتيجة برودة الصهير وتصلبه، وتعد الصخور النارية هي الأصل الذي اشتقت منه باقي أنواع الصخور (رسوبية- متحولة) لذا يطلق عليها أحيانا الصخور الأولية Primary Rocks ، إذ أنها أول ما نشأ من صخور نتيجة لتصلد المادة الصخرية المنصهرة والتي تعرف باسم الصهير أو الماجما Magma. والصهير عبارة عن مواد منصهرة اندفعت من باطن الأرض إلى سطحها وحدث له عملية تصلب بسبب



التبريد التدريجي والمستمر. وقد يحدث أحيانا أن يرتفع هذا الصهير في مناطق ضعف في القشرة الأرضية فيخرج على هيئة حمم Lava كما يرى ذلك في البراكين فتتصلد الحمم للانخفاض السريع في درجة الحرارة مكونة صخور نارية بركانية.

1-5-4 أسس تصنيف الصخور النارية

لا يوجد تصنيف محدد يحظى بإجماع علماء الصخور النارية ولكن يوجد أكثر من أساس من أسس التصنيف ويمكن إجمال تلك الأسس فيما يلي:

1- التصنيف الكيميائي

أثبت التحليل الكيميائي للصخور النارية أن معظمها يتكون من معادن السيليكات ومن هذا اتخذت نسبة السيليكا في البداية كأساس لتصنيف الصخور النارية إلى أربع مجموعات:

أ- صخور نارية حامضية فاتحة اللون Acidic وهي صخور غنية بالسيليكا حيث تصل نسبة السيليكا فيها إلى أكثر من 66٪، وتحتوى كميات ضئيلة من أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم والحديد والألومنيوم والصوديوم والبوتاسيوم، ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخر الجرانيت Granite والرايوليت Rhyolite (الشكل 4-5).

ب- صخور نارية متوسطة Intermediate وتتراوح نسبة السيليكا فيها من 52-66٪ ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخر السيانيت Syenite والديوريت Diorite .

ج- صخور نارية قاعدية قاتمة اللون Basic وتتراوح نسبة السيليكا في هذه الصخور من 40-52٪، وبقية المكونات تتكون من أكسيد الحديد والماغنسيوم والألومنيوم والكالسيوم. ومن أشهر أمثلة هذا النوع الجابرو Gabbro والبازلت Basalt .

د- صخور نارية فوق قاعدية Ultra basic وتصل نسبة السيليكا فيها إلى أقل من 40٪ ومن أشهر أمثلة هذا النوع صخر الدونيت Dunite والبريدوتيت Peridotite.



2- طريقة التواجد Mode of Occurrence

ميز العلماء بين نوعين من الصـخور النارية حسـب موقع النشـأة إلى صـخور نارية جوفية، وصـخور نارية سـطحية. تتكون الصـخور النارية الجوفية داخل القشـرة الأرضـية وتسـمى في هذه الحالة صخورا متداخلة Intrusive rocks وذلك لتداخلها بين الطبقات أو في الشـقوق والفجوات التي توجد في الصـخور الأخرى. أما الصخور النارية السطحية تمثل الصـخور السـطحية أو البركانيـة Extrusive volcanic rocks. وتوجـد كل الدرجات بين هذين القسمين، ذلك لأن الصهارة يتصلب جزء منها في الأعماق وأثناء صعودها من جوف الأرض إلى السطح وأجزاء أخرى تتصلب بالقرب من السطح وكذلك فوق السطح. ولما كانت الصـخور النارية المتداخلة تتكون في أول الأمر داخل القشـرة الأرضـية، فـإن ظهورها على السـطح ليس إلا نتيجة عوامـل أخرى حدثت بعد تكونها وأدت إلى رفعها إلى السـطح وتآكل الصخور التي كانت تعلوها.



جرانيت	بازلت	جابرو
ريولايت	دايوريت	أنديزيت
بيجماتيت	بريدوتيت	ديونيت
سينيت	أوبسيديان	

الشكل (4 - 5): بعض أنواع الصخور النارية



مما سبق يمكن تقسيم الصخور النارية حسب تواجدها إلى قسمين أساسيين:

أ- الصخور النارية المتداخلة (الجوفية) Intrusive Rocks

وهى الصخور التي تكونت على أعماق كبيرة في جوف الأرض، وتعرف أحيانا بالصخور البلوتونية Plutonic Rocks. ويحدث التصلب نتيجة للتبريد البطيء والمستمر تحت الضغط المرتفع مع وجود المواد الطيارة Volatiles مما يتيح الفرصة لنمو بلورات المعادن المكونة للصخر الناري الجوفي، الأمر الذي ينعكس بالتالي على نسيج الصخر نفسه فيصبح ذا نسيج خشن Coarse Grained، يمكن تمييز محتواه المعدني بالعين المجردة مثل صخور الجرانيت والديوريت والجابرو وجميعها من الصخور النارية الجوفية التي تتميز بنسيجها الخشن.

ب- الصخور النارية السطحية (البركانية) Extrusive (Volcanic) Rocks

تتكون هذه النوعية من الصخور النارية نتيجة لتصلب الحمم المندفعة من فوهات البراكين عند السطح في ظروف عكس الظروف المكونة للصخور الجوفية تماماً إذ يتم التبريد بسرعة مما لا يتيح الفرصة لنمو بلورات المعادن المكونة للصخر فيصبح النسيج في هذه الحالة دقيق التحبب Fine – Grained ، وربما لا تتكون بلورات على الإطلاق إذا كان التبريد فجائياً فيصبح النسيج في هذه الحالة زجاجياً Glassy.

على الرغم من وجود النوعين السابقين من الصخور النارية فإن البعض قد ميز نوعاً ثالثا وهو الصخور النارية الوسطى، وهى لا تتكون على أعماق كبيرة مثل الصخور الجوفية ولا تتكون أيضاً على السطح مثل الصخور البركانية وإنما تتكون فيما بينهما ولذا تعرف أحياناً بالصخور النارية تحت سطحية. ومن الطبيعي في هذه الحالة أن يكون النسيج وسطياً أي أنه ليس بالنسيج الخشن ولا الدقيق وإنما هو نسيج متوسط التحبب Medium Grained وتشمل هذه النوعية من الصخور صخور الجدد (القواطع Dykes والسدود Sills) التي تمثل مكانا وسطا تقريبا بين الصخور النارية الجوفية والصخور النارية السطحية.



غير أنه قد يصادفنا أحياناً صخر ذو نسيج متفاوت التحبب أي أن حبيبات غير متجانسة في الحجم حيث يبدو في الصخر حبيبات كبيرة الحجم في أرضية دقيقة التحبب ويطلق على مثل هذا النسيج، النسيج البورفيرى (المتباين) Porphyritic Texture ولأن النسيج يعكس إلى حد كبير نشأة الصخر فإن هذا النسيج يتكون بعدة طرق مختلفة وأهم هذه الطرق هو التغير الحادث في الظروف الفيزيائية والكيميائية التي تتحكم في نمو البلورات، فالبلورات الظاهرة تنشأ في الأعماق حيث الضغط العالي ومعدل التبريد البطيء والمنتظم وعندما ينتقل الصهير بما يحمله من بلورات ظاهرة إلى مستوى أعلى داخل القشرة الأرضية أو حتى يخرج إلى السطح فإنه يحدث اختلال في معدل التبريد حيث يصبح أسرع فتنشأ في هذه الحالة البلورات الدقيقة الحجم وبهذا يتكون النسيج البورفيري.

2-5-4 وصف أهم الصخور النارية

1 - الجرانيت Granite

يعد الجرانيت من أكثر الصخور شهرة وانتشاراً ويتكون من المرو بنسبة تتراوح من 20- 40٪ والفلسبار حيث يكون الفلسبار البوتاسي أكبر من 3/2 مجموع الفلسبار ككل وأيضا الميكا. ويعتبر الجرانيت من الصخور النارية الحمضية الجوفية الخشنة التحبب وقد يكون أحياناً متوسط أو دقيق التحبب. والرايولايت Rhyolite هو المكافئ البركاني للجرانيت ويوجد على هيئة حمم ذات نسيج دقيق أو/ زجاجي أو مستترة التبلور.

2 - الجرانوديوريت Granodiorite

هذا الصخر ناري جوفي حامضي خشن التحبب وهو من أكثر الصخور انتشاراً ويمثل الحالة الوسطية بين الجرانيت والديوريت وفيه تقل نسبة المرو عن نسبته في الجرانيت بينما تزداد نسبة البلاجيوكليز إلى أكثر من ثلثي مجموع الفلسبار ولا تتعدى نسبة الفلسبار البوتاسي عن ثلث مجموع الفلسبار. ويمثل صخر الداسيت Dacite المكافئ البركاني للجرانوديوريت.



3 - البيجماتيت Pegmatite

هــذا الصــخر دائما ما يصــاحب الجرانيت والجرانوديوريت، وهو صــخر خشــن جداً حتى أنه توجد أضــخم وأجمل البلورات داخل عــروق البجماتيت، ويرجع ذلك إلى انخفاض درجة لزوجة الصهير وتركيز المكونات التي تتبلور منها معادن البجماتيت، والمحتوى المعدني للبجماتيــت يماثــل نفس المحتوى لــدى الجرانيت، وكثــيراً ما تحتوي عــروق البجمايت على بلــورات معادن البيريل Beryl والتورمالــين Tourmaline والزيركون Zircon وغيرها من المعادن ذات القيمة الاقتصادية.

4 - السيانيت Syenite

هذا الصخر ناري جوفي متوسط ذو نسيج خشن التحبب غالباً يشبه الجرانيت في مظهره ويتكون بصــفة أساسية من الفلسبار البوتاســي (أرثوكليز) بالإضافة إلى كل من الهورنبلند والبيوتيت، والمكافئ البركاني للسيانيت، هو صخر التراكيت Trachyte.

5 - الدايوريت Diorite

هــذا الصــخر ناري جــوفي متوســط يتكون من معدنــين أساســيين همــا البلاجيوكليز والهورنبلند والمكافئ البركاني للديوريت هو صخر الأنديزيت Andesite.

6 - الجابرو Gabbro

هذا الصــخر نــاري جــوفي قاعدي يتكــون من معدنــين أساســيين همــا البلاجيوكليز، والبيروكســين. والمكافــئ البركاني للجابــرو هو البازلت Basalt وهو من أشــهر الصــخور البركانية ويستخدم في رصف الطرق.

7 - البريدوتيت Peridotite

يوصــف هذا الصــخر بأنه نــاري جوفي فوق قاعدي يتكون أساســاً من معــدن الأوليفين بالإضافة إلى بعض المعادن المافية الأخرى مثل الأوجيت والهورنبلند.



8 - البازلت Basalt

البازلت هو أحد الصخور النارية السطحية، وتركيبه الكيميائي قاعدي ويتكون من البلاجيوكليز بنسبة تتراوح بين 45-70% والأمفيبول بنسبة من 25-50% ويتكون أيضا من البيروكسين والأوليفين، والبازلت يعتبر من أشهر الصخور السطحية فهو يتميز بلون قاتم ونسيج دقيق عموما حيث يصعب رؤية بلوراته بالعين المجردة مع وجود بعض البلورات المورثة (Phenocrysts)، وأحيانا يتميز بالنسيج الحويصلي (Vesicular Texture)، أى حفر صغيرة يتميز بها الصخر وهى تتكون نتيجة هروب الغازات أثناء برودة الحمم المتدفقة على السطح.

9 - الريولايت Rhyolite

هو صخر نارى سطحي، تركيبه الكيميائي حمضي. يتميز بلون فاتح ونسيج دقيق، ويتكون من المرو بنسبة 10-40% وفلسبار بوتاسى بنسبة 30-60% ويحتوي على بلاجيوكليز بنسبة 0-30% وبيوتيت وأمفيبول بنسبة تتراوح بين 10-33%.

10 - الأنديزايت Andesite

هو صخر ناري متوسط اللون وتركيبه الكيميائي متوسط، يتميز بنسيج دقيق ويتكون من البلاجيوكليز بنسبة تتراوح بين 55-70% ويحتوي ايضا على الأمفيبول والبيوتيت بنسبة تتراوح بين 25-40%.

3-5-4 أشكال الصخور النارية

إن الكيفية التي يتصلب بها الصهير لا تتيح الفرصة للصخور النارية الناتجة من هذا التصلب أن تتخذ أشكالاً منتظمة إلا أنه يمكن وضع تلك الأشكال في المجموعات التالية (الشكل 4-6):

أ- الكتل الجوفية Massive Plutons وتشمل هذه المجموعة كل من:

1- باثوليث: Batholith وهى أضخم كتل الصخور النارية وأكثرها اتساعاً وتتكون غالباً من صخور الجرانيت والجرانوديوريت وهى تشكل جذور وقلوب سلاسل الجبال الضخمة.



2- ستوك: Stock وهو كتلة صغيرة بالنسبة لحجم الباثوليث لا تزيد مساحته عن 100 كيلـو متر مربع وعادة ما تكون مثل هذه الأشـكال أجزاء من الباثوليـت وعندما تؤثر عوامل التعرية على الصخور المحيطة بها تنشأ عنها أجسام شديدة الانحدار تسمى .Bosses

ب- الأجسام اللوحية: Sheet Intrusions وهى عبارة عن متداخلات Intrusions نارية على هيئة ألواح تختلف في تسميتها حسب وضعها وتشمل:

1 -جـدة قاطعة: Dyke وتعرف أحياناً بالقاطع على سـبيل الاختصـار، وهو عبارة عن متداخل ناري رأسي أو ذو ميل ملحوظ عند تداخله.

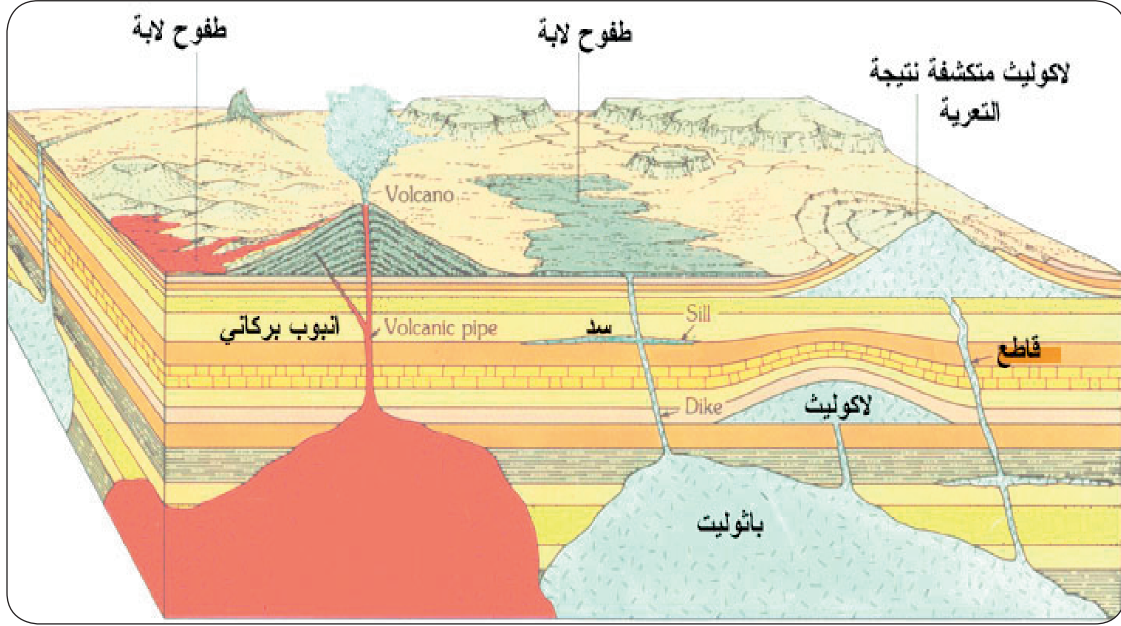
2- جدة موازية: Sill وتعرف أحياناً باسم السد الموازى أو المطابق وقد تسمى على سبيل الاختصـار باسم السد وينشأ عندما يجد الصـهير طريقاً موازياً للطبقات الصخرية مكوناً أجسـاماً أفقية، وعموما فإن الجدد سـواء أكانت قاطعة أو موازية يتراوح سـمكها بين عدة سنتيمترات إلى عدة أمتار.

ج- الأجسام العدسية: Lens–Shaped Plutons وهى متداخلات نارية تأخذ شكل القبه أو العدسة وتشمل كل من:

1 -لاكوليث Lacolith : وهـي عبارة عن متداخلات نارية تشـبه السـدود Sills غير أن الضغط الكبير للصهير على السطح الطبقي يسبب تقوس الطبقات التي تعلو التداخل الناري بينما تظل الطبقات السـفلية على حالها في الموضع الأفقي وتتراوح أقطار وسمك اللاكوليث من بضع مئات الأمتار إلى عدة كيلو مترات.

2-لوبوليث: Lopolith وهى عكس اللاكوليث تماما إذ يحدث التقوس إلى أسـفل أي أن السطح السفلى يشبه الإناء المقعر.





الشكل (4 - 6): وضع وأشكال الصخور النارية (حسن وآخرون، 1990)

4 - 6 الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks

تتكون الصخور الرسوبية فوق سطح الأرض نتيجة تماسك الرواسب المفككة المتراكمة على هيئة طبقات تحت درجات حرارة وضغوط منخفضة. وبذلك تنشأ الصخور الرسوبية عن ترسيب هذه المواد المفتتة أو الذائبة في الماء والتي تنتج نتيجة تعرض الصخور المختلفة (النارية، الرسوبية أو المتحولة) إلى نشاط ميكانيكي يؤدي إلى التفتت الميكانيكي للصخور بسبب عوامل التجوية كالرياح والأمطار والأمواج البحرية وغيرها وهذه تمثل التجوية الفيزيائية (الميكانيكية). أما التجوية الكيميائية فإنها تؤدى للتحلل الكيميائي لمعظم المعادن المكونة للصخور، ثم تقوم عوامل النقل كالمياه الجارية والرياح والجليد بنقل المعادن المتحللة والفتات كمكونات صلبة أو ذائبة.

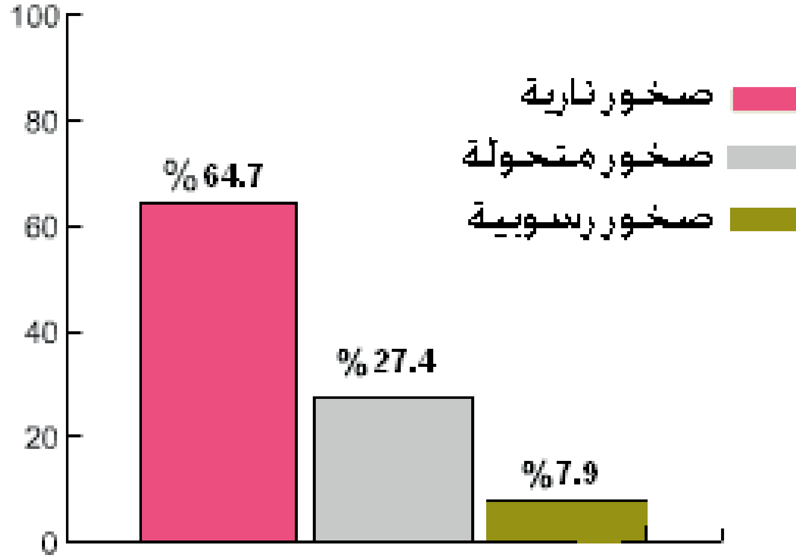
يبدأ ترسيب المواد الصلبة عندما يضعف تيار الماء أو الهواء الحامل لها، أما المواد المذابة فتترسب بعد تبخر الماء المذيب لها وتحدث عملية الترسيب في أماكن منخفضة على سطح الأرض، ويسمى هذا المكان بيئة الترسيب. وهناك بيئات مختلفة للترسيب من



أهمها الصحاري وسفوح الجبال وفي السهول الفيضية حول الأنهار وفي البحار والمحيطات والبحيرات والشواطئ والدلتات، حيث تتكون الرواسب الملحية ثم تتماسك الرواسب المفككة لتكون الصخور الرسوبية وتحدث عملية التماسك إما بترسيب مواد لاحمة بين حبيبات الرواسب الخشنة كالحصى والرمال (بواسطة مواد لاحمة الشائعة مثل أكسيد الحديد والسيليكا وكربونات الكالسيوم) أو تتماسك الرواسب بفعل ضغط الرواسب العليا على ما تحتها من رواسب حيث يتم خروج الماء الموجود بين حبيبات الرواسب فتتصلب وتكون صخورا رسوبية.

تكون الصخور الرسوبية حوالي 7.9% من حجم قشرة الأرض (الشكل 4-7) ، إلا أنه رغم هذه النسبة الضئيلة، فهي تغطى حوالي 3/4 القارات بطبقة رقيقة، لتشكل معظم المعالم الطبيعية التي نشاهدها من حولنا. والصخور الرسوبية لها أهميتها المميزة لما تحتويه من موارد اقتصادية مهمة، وبين طبقاتها توجد خزانات النفط والغاز، وكذلك بعض العناصر الرئيسية للحياة المتمثلة في الماء والفحم الحجري والملح وجميع مواد البناء والخامات المعدنية، كالحديد، والتربة.





الشكل (4-7): تركيب مكونات القشرة الأرضية الصخري

ومن الصخور الرسوبية الشائعة الحجر الرملي والحجر الجيري والبريشيا والفوسفات ويمتاز كل صخر بطبيعة تكوينية فمثلاً الحجر الطيني يتميز بسطحه الأملس ومنه ما يكون هش ويمكن أن يتغير لون صخر عن آخر بحسب المادة اللاحمة التي يحتويها أو الشوائب التي تأخذ حيز منه.

قد يحدث أن الصخور سابقة التكوين (مثل الصخور النارية والصخور المتحولة والصخور الرسوبية القديمة)، والتي نقلت بواسطة الرياح أو الماء على هيئة راسب، قد تترسب وتتراكم ويحدث لها تجمع في المناطق المنخفضة على سطح اليابسة أو الماء ويحدث تلاحم Cementation وتصلب Lithification ليشكل الصخور الرسوبية مرة أخرى. عموما، تنشأ الصخور الرسوبية كناتج من عمليات التجوية Weathering والتعرية Erosion والنقل Transportation والترسيب Deposition وهذا يعني أنها صخور ثانوية أتت من صخور أخرى سواء كانت قريبة أو بعيدة عن الحوض الترسيبي. وعادة ما تتكون هذه الرواسب على



هيئة طبقات متعاقبة وتختلف فيما بينها من ناحية السمك Thickness والتركيب المعدني Mineral Composition والتراكيب الرسوبية Sedimentary Structures وحجم الحبيبات Grain Size واللون Color والأحافير Fossils بالإضافة إلى صفات أخرى.

إن المواد التي تتكون منها الصخور الرسوبية يعتقد بأنها نشأت عن تجوية الصخور سابقة التكوين، حيث أن التجوية الكيميائية Chemical Weathering تحلل المعادن الصخرية بينما التجوية الميكانيكية Mechanical Weathering مسؤولة عن الظروف الطبيعية لهدم الصخور الأصلية. وتتحول هذه الترسبات المفككة إلى صخور رسوبية بعد عملية الدفن والتلاحم والتضاغط. نتاج التجوية الكيميائية يمكن نقلها بواسطة المحاليل على هيئة مواد ذائبة بواسطة الماء إلى البحيرات والأنهار والبحار وأن المتغيرات الكيميائية (مثل عملية البخر) أو العضوية يمكن أن تكون رسوبيات. ومن هذه الترسبات الترافيرتين (Travertine) وقطاع المتبخرات Evaporites وكذلك ترقفات المتكونات الرسوبية الحديدية(Ironstone Formations) وهذه الترسبات الكيميائية تعرف بالمكونات الكيميائية النقية. وعندما تتسبب الكائنات في ترسب مكونات المعادن الرسوبية الرئيسية أو أن المعادن المترسبة تعرضت لحركات شديدة وإعادة ترسيب بعد تبلوره فهي تعرف بالمكونات الكيميائية غير النقية. عموماً تشمل التجوية التحلل الكيميائي والتفكك الميكانيكي ونتاجها يشكل مواداً رسوبية حيث تعطينا قطع صلبة وجزئيات تُعرف بالمواد الفتاتية. أما الرسوبيات المفككة والمترسبة ميكانيكياً فهي تشمل الحصى Gravel والرمل Sand والغرين Silt الطي Mud ، وعند تصخرها وتصلدها بالضغط والتلاحم تشكل صخور الكونجلوميرات والبرشيا Conglomerates & Breccia وأحجار الرمل والصخور الطينية. تعرف هذه الرسوبيات بنسيجها الفتاتي بالرسوبيات القارية.

4-6-1 المميزات العامة للصخور الرسوبية

تتميز الصخور الرسوبية بعدة مميزات وهى كالتالي:

- توجد الصخور الرسوبية في الطبيعة على هيئة طبقات (Strata) متتابعة، الأحدث



منها فوق الأقدم وتختلف هذه الطبقات في اللون والسمك والتركيب ويتراوح سمك طبقات الصخور الرسوبية بين عدة سنتيمترات وبضعة أمتار.

- تحتوي الصخور الرسوبية عادة على بقايا كائنات حية (أحافير Fossils) لأن الظروف التي كونت هذه الصخور تسمح بحفظ الكائنات الحية بعد موتها أو أجزاء منها أو ما يدل عليها.

- يندر أن تكون الصخور الرسوبية في حالة متبلورة باستثناء الصخور الرسوبية الكيميائية الملحية مثل الملح الصخري والمتبخرات الأخرى مثل الأنهيدريت والجبس ولكنها توجد على هيئة حبيبات أو بلورات متماسكة.

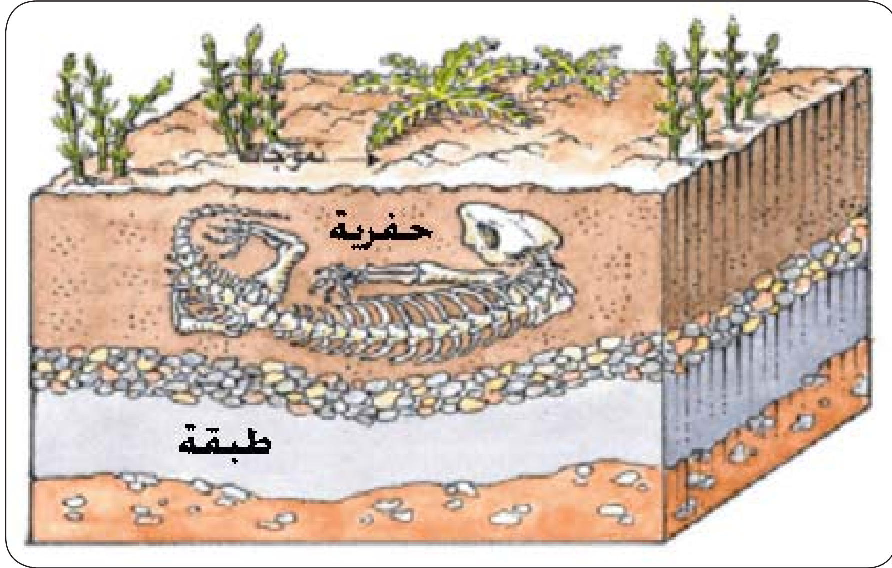
- تحتوي الصخور الرسوبية على مسامية ونفاذية (Porosity and Permeability) بين وداخل الحبيبات المكونة لها لهذا فهي تعتبر خزانات طبيعية للنفط والمياه الجوفية والغاز الطبيعي.

- تتميز الصخور الرسوبية أيضا ببنيات رسوبية تموجية التي تسمى أيضاً علامات النيم (Ripple Marks) والتطابق المتقطع كما هو موضح بالشكل (4-8)، وهى تتكون نتيجة تدفق تيار مائي فوق طبقة رملية أو تيار هوائي على الكثبان الرملية، فتتحرك بذلك حبيبات الرمل وتظهر هذه العلامات.

- وجود التشققات الطينية (Mud Cracks) حيث أنه عندما تغمر منطقة طينية بالمياه، ثم تتعرض المياه للجفاف، فإن الطين المبلل يجف وينكمش، وتظهر بذلك على سطحه شقوق مميزة، تفصله إلى كتل مضلعة.

- تقاوم الصخور الرسوبية عوامل التجوية بدرجة أقل من الصخور النارية.





الشكل (4-8) : يبين بعض المميزات العامة للصخور الرسوبية (حسن وآخرون، 1990)

2-6-4 تقسيم الصخور الرسوبية

تحتوي الصخور الرسوبية في الغالب على ثلاثة أنواع رئيسية وتشكل ٩٥٪ من مجموع الصخور الرسوبية وهي :

- صخور الطين (Claystone Rocks) وتشكل 65% .
- صخور الرمل(Sandstone Rocks) وتشكل 20 – 25% .
- صخور الكربونات (Carbonate Rocks) وتشكل 10 - 15% .

ويمكن تقسيم الصخور الرسوبية حسب طريقة تكوينها ونشأتها إلى ثلاثة أقسام رئيسية وهي كالتالي:

- صخور رسوبية ميكانيكية النشأة Mechanic Sedimentary Rocks
- صخور رسوبية كيميائية النشأة Chemical Sedimentary Rocks
- صخور رسوبية عضوية النشأة Organic Sedimentary Rocks



صخور رسوبية فتاتية وميكانيكية النشأة

تنشأ الصخور الرسوبية الفتاتية نتيجة تفتت صخور قديمة موجودة بفعل عوامل التجوية والتعرية، ثم تعرض الفتات لعوامل النقل (بالمياه الجارية والرياح والجليد) وتم ترسيبه. وتشمل الصخور الفتاتية كل الصخور التي تتكون من قطع وفتات الصخور سابقة التكوين والتي نقلت إلى أماكن ترسيبها ثم تتماسك وتتصل. ويمكن تقسيم الصخور الرسوبية الفتاتية حسب أحجام الحبيبات كما هو مبين بالجدول (4 - 2) كالتالي:

أولاً: الصخور الفتاتية كبيرة الحبيبات

يتراوح حجم حبيبات الصخور الفتاتية كبيرة الحجم من ٢ ملم إلى عدة سنتيمترات (واكبر) وتضم حبيبات هذه الصخور نسبة عالية من الحصى وتسمى هذه بالصخور الحصوية وتشمل هذه الصخور التالي:

1- الرصيص Conglomerate

يعتبر الرصيص صخر خشن الحبيبات تكون نتيجة التصاق كل الحبيبات المستديرة التي يزيد حجمها عن ٢ مم حيث الشكل الدوراني للحبيبات يدل على أن انتقال حبيباته تمت من مسافة بعيدة جدا وتعرضت للاحتكاك الكافي لإزالة الزوايا الحادة، وأصبحت بشكل مستدير كما هو موضح في الشكل (4-9).

2- البريشيا Breccia

صخر البريشيا هو صخر خشن الحبيبات، تكون نتيجة التصاق كل الحبيبات ذات الزوايا الحادة و التي يزيد حجمها عن 2 مم. ويستنتج من ذلك أن حبيباته كانت قريبة من مكان الترسيب ولم تتعرض أثناء نقلها إلى الاحتكاك الكافي لإزالة زواياها.



الجدول (4-2): يبين تصنيف الصخور الفتاتية حسب حجم حبيباتها (Hamblin & Howard, 1980)

اسم القطعة	النسيج	الحجم / مم	اسم الرسوبيات	اسم الصخر
جلمود Boulder	خشن	أكبر من ٢٥٦	حصى Gravel	الرصيص conglomerate البريشيا breccia
زلط Cobble		٢٥٦-٦٤	Gravel	
حصى Pebble		٦٤-٤	Gravel	
حبيبة Granule		٤-٢	Gravel	
حبة رمل Sand	متوسط	٢-١/١٦	رمل Sand	حجر رملي Sandstone
حبة غرين Silt	دقيق	١/١٦-١/٢٥٦	غرين Silt	حجر غريني Siltstone
حبة طين Clay	دقيق جدا	أقل من ١/٢٥٦	طين أو وحل Clay	حجر طيني أو طفل Claystone or Shale

ثانياً : الصخور الفتاتية متوسطة الحبيبات:

يتراوح حجم الحبيبات من 1/16 إلى 2 ملم، وتضم حبيبات هذه الصخور نسبة عالية من الرمل وتسمى بالصخور الرملية Arenaceous Rocks ومن أمثلتها الكوارتزأرينايت Quartzarenite و الاركوز Arkose، ولتصنيف صخور الحجر الرملي لا بد من مراعاة عامل النضوج Maturity من الناحية الكيميائية والفيزيائية حيث أنه خلال عمليتي التجوية والنقل تتحلل المعادن غير الثابتة مثل الفلسبار Feldspar وتزداد نسبة المعادن الثابتة الأكثر مقاومة للتجوية مثل المرو. لذلك فإن معامل النضوج الكيميائي لصخر يتمثل في نسبة وجود المرو والفلسبار في هذا الصخر.



رصيص	بريشيا
حجر رملي	حجر رملي كوارتزي
أركوز	حجر غريني
حجر طيني	طفل

الشكل (4-9): بعض أنواع الصخور الرسوبية الفتاتية (after Hamblin & Howard, 1980)



1- الحجر الرملي Sandstone

يتكون الحجر الرملي من حبيبات متوسطة الحجم، وهو يتكون نتيجة التصاق حبيبات الرمل وأي رواسب رملية يمكن أن تتصخر. ويترسب الحجر الرملي في عدة بيئات رسوبية منها الأنهار والكثبان الرملية والشواطئ و البحار العميقة. و نتيجة وجود عدة بيئات ترسيب للحجر الرملي، فإنه يوجد اختلافا كبيرا في تركيبه المعدني، وفي درجة فرز حبيباته واستدارتها. ويقسم الحجر الرملي تبعاً لحجم حبيباته إلى: خشن، متوسط، ناعم، ويتم تقسيم الصخور الرسوبية إلى ثلاثة مجاميع رئيسية بناءً على درجة نضوج الرمل من الناحية الكيميائية والفيزيائية وهي:

أ- الحجر الرملي المروي

يحتوي صخر الحجر الرملي المروي على نسبة تصل إلى 90% من معدن المرو، وهو ذو لون أبيض إلى رمادي باهت وحبيباته مستديرة وغالباً يكون عالي المسامية والنفاذية عند وقت الترسيب وذلك بسبب تقارب حجم حبيباته. تتكون المادة اللاحمة لهذا الصخر إما من السيليكا أوالكالسيت، ولكن عندما تنعدم المادة اللاحمة يشكل الحجر الرملي المروي أحسن خزانات البترول والمياه، ويرجع أصل تكونه إلى رواسب الشواطىء ورواسب الكثبان الرملية.

ب- الآركوز Arkose

صخر الآركوز عبارة عن حجر الرمل المتكون من المرو وكمية كبيرة من الفلسبار تصل إلى أكثر من 25% ، ونسبة قليلة من الراسب الأرضي أقل من 15% ، حيث أن نسبة المرو تزيد عن نسبة الفلسبار بمجرد تعرض المصدر لعملية التجوية.

ج- أحجارالواكى Wackes

يستخدم مصطلح واكى للدلالة على نوعين من أحجار الرمل هما :

- الجريواك Greywacke وهو غير ناضج كيميائياً لاحتوائه ما بين 25-60% من الفلسبار وبعض المكونات الصخرية الأخرى ذات الأصل الناري أو الرسوبي ويمتاز بأنه صخر صلب لونه رمادي مخضر قاتم ذو مكسر خشن غير منتظم.



- المروواك Quartzwacke وهو ناضــج كيميائياً لاحتوائــه على أقل من 25% من معدن الفلســبار. يتميز هذا الصخر بنســبة مرو تزيد عن الصخر السابق ويصعب التفريق بينهم يدوياً ولكن يسهل ذلك تحت المجهر.

ثالثاً: الصخور الرسوبية الفتاتية دقيقة الحبيبات

يتميــز هــذا النوع من الصــخور بحجــم حبيبات أقل مــن 1/16 مم وهي صــخورطينية تحتوي على نسـبة عالية من الطين مثل صــخر الطين الصفحي (Shale) وتسمى بالصخور الطينية. تترسـب هذه الصــخور عادة في مناطــق بعيدة عن منطقة المصــدر بعد أنتتعرض لعوامل التجوية فترة طويلة ولذلك تتحول معظم الســيليكات غير الثابتة في هذه الرســوبيات دقيقة الحبيبات إلى معادن طينية، ومن أمثلتها:

1- الحجرالغرينى Siltstone

يسمى الصخر الرسوبي بالحجر الغرينى، إذا تكون أغلبه من حبيبات في حجم الغرين، وهو يحتوى على الكثير من المرو والمايكا.

2- الحجرالطينى Claystone

يتكون الحجر الطيني من حبيبات في حجم الطين، ولكنه يفتقر إلى خاصــية الانفصــال إلى رقائق، كما هو الحال في الطفل.

3- الطفل Shale

هوصخر رسوبي دقيق الحبيبات يتميز بقدرته على الانفصال إلى رقائق، وهذا الانفصال يحدث عبر سطوح رقيقة جدا. والطفل يتكون من غرين وطين ذات الحبيبات الدقيقة جدا، ممــا يجعل هذا الصـــخر ناعم الملمس. ورواســب الغريــن والطين التى تكون صــخر الطفل مصدرها أماكن المياه الهادئة البعيدة عن التيارات مثل قيعان المحيطات والبحيرات.



- الصخور الرسوبية الكيميائية

تنشأ هذه الصخور من محاليل تحتوي على مواد مذابة مثل أيونات الكربونات (CO_3^{--}) والكبريتات (SO_4^{--}) والكالسيوم (Ca^{++}). عندما تتبخر هذه المحاليل أو تتفاعل مع بعضها البعض تكون هذه الرواسب أي تتكون من الترسيب المباشر الذي يحدث دائما داخل الحوض الترسيبي. ومن أمثلة هذه الصخور صخر الحجر الجيري أحد صخور الكربونات (Limestone)، الملح الصخري (Rock Salt) ، الجبس (Gypsum) والانهيدرايت (Anhydrite) كما هو موضح بالشكل (4-10).

وتقسم الصخور الرسوبية الكيميائية حسب تركيبها الكيميائي إلى ثلاثة أنواع:

أ- صخور رسوبية كيميائية جيرية

وهي عبارة عن صخور الكربونات ولها عدة أنواع من أهمها :

1- الحجر الجيري غير العضوي Inorganic limestone

يتكون أكثر من 90% من هذا الصخر من كربونات الكالسيوم (كالسيت) ولونه أبيض أو رمادي ولكنه غالباً يأخذ ألواناً أخرى. ويترسب الصخر من محاليل بيكربونات الكالسيوم نتيجة فقدانها لغاز ثاني أكسيد الكربون كما هو مبين في المعادلة الكيميائية التالية:



$$CaCo_3 + H_2O + CO_2 \Leftrightarrow Ca^{++} + HCO_3^- + OH^-$$

2- الحجر الجيري البطروخي Oolitic Limestone

يحدث أن يترسب الكالسيت على شكل كرات صغيرة من حبات الرمل (أو غيرها من الأحافير الصغيرة أو قطع منها) نواة لها وتتماسك هذه الكرات الصغيرة بواسطة مادة لاحمة عادة ما تكون جيرية. يتكون هذا الصخر في المياه البحرية الشاطئية الضحلة المتأثرة بالأمواج الشديدة.

3- رواسب الهوابط Stalactites والصواعد Stalagmites

تتكون هذه الرواسب في المغارات والكهوف وتتدلى من سقفها أو ترتفع من أرضيتها وهي تنشأ في المناطق الجيرية الواقعة في ظروف مناخية ممطرة، حيث يذوب الحجر الجيري



في المياه المطرة وبمجرد تعرض بيكربونات الكالسيوم إلى فقدان ما تحتويه من غاز ثاني أكسيد الكربون تترسب في صورة كربونات الكالسيوم.

4- رواسب الينابيع الحارة Travertine

هذه الرواسب الجيرية تتكون حول الينابيع الحارة من مياهها المتصاعدة المحملة ببيكربونات الكالسيوم على هيئة مسحوق أبيض.

5-الدولومايت Dolomite

يتكون هذا الصخر من معدن الدولومايت (كربونات مزدوجة مع الكالسيوم والماغنسيوم) وهو يترسب أحياناً مباشرة من مياه البحر (مسطحات المد والجذر) نتيجة للتبادل المزدوج لعنصري الماغنسيوم والكالسيوم حيث تنمو بلورات الدولومايت في رواسب الجير غير الملتحمة (الطين الجيري). والدولوميت يشبه الحجر الجيري إلا أنه أثقل منه قليلا وصلابته أعلى ولا يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك المخفف HCL بسرعة مثل الحجر الجيري. ويعتقد أن الدولومايت يتكون نتيجة لتفاعل المحاليل المحملة بمركبات الماغنسيوم مع الحجر الجيري حيث يحل الماغنسيوم محل الكالسيوم.

6- الصخور الشعابية Reef Rocks

تتشكل هذه الصخور في بيئة ضحلة ودافئة نتيجة نشاط الكائنات الحية ومن تجمع هياكل جميع الكائنات الحية. ويكون دائماً مغموراً تحت سطح الماء ويشكل المرجان الإطار الرئيسي للصخور الشعابية.

ب- صخور رسوبية كيميائية سيليسية chemical Siliceous sedimentary rocks

هذه صخور سيليسية (أي تتكون غالباً من السيليكا) وليس بها حجر جير (Limestone) هذا النوع من الصخور يحتوي على نسبة عالية من السيليكا قد تصل إلى 60%.



ج- صخور رسوبية كيميائية تبخرية (Evaporites)

تتكون هذه الصخور في البحيرات والبحار المقفولة نتيجة تبخر مياهها الذي يؤدي إلى تركيز الأملاح ثم ترسبها ويبدأ الترسيب عادة بالأملاح الأقل ذوباناً مثل الكربونات ثم الكبريتات (الجبس والأنهيدرايت) والهاليدات.

1-الجبس Gypsum (كبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4 \cdot 2H_2O$)

يبدأ الجبس في الترسيب عندما يتبخر حوالي 37% من مياه البحار المغلقة والبحيرات وتحت الظروف المناسبة يمكن أن تتكون طبقات سميكة من الجبس الذي يوجد على هيئة حبيبات دقيقة أو كتل ليفية.

2-الأنهيدرايت Anhydrite (كبريتات الكالسيوم اللامائية $CaSO_4$)

صخر الجبس يلي الأنهيدرايت في الترسيب وعادة ما يترسب على هيئة طبقات متبادلة مع طبقات الجبس بالإضافة إلى بعض الرواسب المحلية الأخرى.غالباً ما يفقد الجبس ماء التبلورنتيجة لدفعه تحت أعماق كبيرة ويتحول إلى الأنهيدرايت والعكس يمكن أن يحدث أن يتميأ الأنهيدرايت ويتحول إلى جبس.

3- الملح الصخري Rock Salt (كلوريد الصوديوم $NaCl$)

يتكون الملح الصخري بعد الجبس والأنهيدرايت نتيجة ترسيب كلوريد الصوديوم (معدن الهاليت) من مياه البحيرات بسبب البخر الشديد، حيث يتبخر أكثر من 90% من الماء.وقد يوجد هذا الصخر مختلطا بكلوريد البوتاسيوم.

- الصخور الرسوبية العضوية:

هذه الصخور تتكون نتيجة للنشاط المباشر والغير مباشر للكائنات الحية سواء من النباتات أو الحيوانات الذي يؤدي إلى تراكم بعض بقاياها الصلبة لتكون صخراً.

الصخور الرسوبية العضوية قد تكون حيوانية النشأة مثل صخور الكوكينا أو تكون صخور نباتية النشأة مثل الفحم كالتالي:



أ. صخور رسوبية حيوانية النشأة:

1- الحجر الجيري العضوي (كوكينا) Coquina

يتكون هذا الصخر من تراكم وتحلل قشور وهياكل وأصداف الحيوانات البحرية بعد موتها. وهو يتكون أصلاً من البقايا الجيرية للحيوانات متماسكة مع بعضها في كتل أو طبقات ويعتبر الحجر الجيري العضوي من أكثر الصخور الرسوبية انتشاراً وهو يتكون في البحار الضحلة ويعتبر غني بالحفريات.

2 - الطباشير Chalk

يعتبر صخر الطباشير أحد أنواع صخور الحجر الجيري العضوي، ويتميز بلونه الأبيض الناصع ونعومة ملمسه. وهو يتكون من حبيبات دقيقة ناتجة من قشور وهياكل الحيوانات الأولية الوحيدة الخلية المعروفة بالفورامينفرا Foraminifera .

3- الفوسفات Phosphate

يرجع أصل الفوسفات إلى معادن الفوسفات الموجودة في الصخور النارية. وأهم هذه المعادن معدن الأباتيت Apatite، حيث تتحلل هذه المعادن أثناء عمليات التعرية والتجوية وتفتت وتنقل إلى البحر في شكل أملاح ذائبة حيث تستخلصها الكائنات الحية لكي تبنى هياكلها. تتراكم هياكل هذه الكائنات بعد موتها وتتحلل لتعطي رواسب الفوسفات التي تتكون من فوسفات الكالسيوم وبعض الكربونات والعناصر الأخرى. هناك فوسفات يعرف بالجوانو وهو ذو رائحة نشادرية نفاذة ويتكون من مخلفات الطيور وتوجد رواسب الجوانو بجزر المحيط الهادي حيث تكثر الطيور.

ب- صخور رسوبية نباتية النشأة

- الفحم Coal

يتكون الفحم في المناطق القارية نتيجة عمليات الاختزال أي التفحم التي تحدث للنباتات المتراكمة في المستنقعات أو الغابات التي تتعرض للطغيان البحري والدفن السريع تحت الرسوبيات المختلفة التي تحميها من الأكسدة أو الاختزال التي تحدث عادة فوق سطح القشرة



الأرضـية. وتتم عملية التفحم في عدة مراحل تزداد في كل منها نسـبة الكربون تدريجياً كما يلي:

أ- الخـث Peat وهـي المرحلـة الأولى مـن عملية التفحـم ويحتوي علـى 55% من الكربون.

ب- فحم الدبال (الفحم البني) أو اللجنيت Lignite وتتراوح نسـبة الكربون فيه بين 25% و 72% .

ج- الفحـم القطراني أو البتيومينـي Bituminous وهو يحتوي على 75% إلى 90% من الكربون.

د- الفحـم الحجري (فحم الانثراسـايت) Anthracite وهو يحتـوي من 93% إلى 98% كربون وهو فحم حالك السواد ومكسره محاري ويحترق بسهولة ويعتبر من أجود أنواع الفحم.



حجر جيري	دولومايت	رواسب الهوابط والصواعد
حجر جيري بطروخي	صخور شعابية	فلنت
شيرت	جبس	أنهيدريت
ملح صخري	كوكينا	

الشكل (10-4): بعض أنواع الصخور الرسوبية الكيميائية (after Hamblin and Howard, 1980)



3-6-4 المستحاثات(الحفريات)Fossils

تعرف المستحاثات أو الحفريات بإنها عبارة عن بقايا متحجرة لهياكل صلبة لكائنات حية دفنت فى الرسوبيات بعد موتها، كما ساعدتها ظروف خاصة في أن تحفظ في الرسوبيات، ومن أهم هذه الظروف هي كثرة الكائنات لكي يعطى فرصة لبقاء نسبة منها في حالة جيدة، وسرعة الردم بعد الموت لكي تحفظ من التفتت بعوامل التجوية المختلفة، وتوفر الأجزاء الصلبة التي لها قدرة على مقاومة التحلل، والترسيب في بيئة غير مؤكسدة لأن الأكسجين يعمل على تنشيط فعل البكتريا التي تتسبب في تخمر المواد العضوية. و من أهم الصخور التي تتواجد فيها هذه المستحاثات هي الصخور الرسوبية مثل الحجر الجيري والطيني والرملي والمترسبة في البحار الضحلة والدلتات والسهول الفيضية. وتتفاوت أهمية المستحاثات كقرائن لاستنتاج العمر الجيولوجي ولمضاهاة الطبقات، فهناك مستحاثات ذات قيمة قليلة لهذا الغرض بحيث يكون مداها الإستراتجرافي(الفترة التي عاشت فيها منذ ظهورها حتى انقراضها) كبير وانتشارها الجغرافي محدودا ببيئات وظروف خاصة في الترسيب، حيث تتكون أنواع معينة من الصخور. وقيمة هذه المستحاثات ضئيلة في معرفة أعمار الطبقات، ولكنها مهمة في معرفة ظروف الترسيب. وتكون المستحاثات قرينة قوية لتحديد أعمار الطبقات إذا كان مداها الإستراتجرافي قصيرا ومحدودا ومداها الجغرافي كبيرا وشاملا. وتسمى المستحاثة في هذه الحالة بالمستحاثة الدالة Index Fossil.

7-4 تحديد أعمار الصخور

توجد طريقتان أساسيتان لتحديد أعمار الصخور لمعرفة التاريخ الجيولوجي للأرض أي التعرف على التغيرات التي طرأت على سطح القشرة الأرضية منذ نشأتها حتى الآن. وهذه الطرق هي :-

1- طريقة تحديد الزمن الجيولوجي المطلق

تعتمد هده الطريقة على النظائر المشعة للعناصر في تحديد أعمار الصخور وهده النظائر المشعة موجودة في بعض المعادن المكونة للصخور، فنجد مثلا عناصر مثل اليورانيوم



والبوتاسـيوم تتحلل وتتغير الى معادن أخرى وتنبعث منها أشـعة ألفا وبيتا وجاما مع تغير في التركيب الذرى، مكونا عناصـر جديدة يطلق عليه العنصـر الوليـد، وتعرف الفترة الزمنية التي يتحول فيها نصـف كتلة العنصر الأساسي إلى العنصر الوليد بالعمر النصفي. وبذلك يمكن تحديد أعمار هده الصـخور عن طريق إيجاد نسـبة العنصـر الأساسـي إلى العنصر الوليد في الصخور. ومن أهم العناصر المشعة المستخدمة في هذه الطريقة هي :-

1 - **الروبيديوم** RB^{87} يتحول هذا العنصر بفقدان جسيم بيتا إلى استرونشيوم 87 . ويبلغ نصف عمر الروبيديوم 47 بليون عام. وهده الطريقة يمكن استخدامها في الصخور التي تحوى مسـكوفيت وبيوتيت وفلسبار والتي تكون غنية بالبوتاسيوم، لأن معظم المعادن الحاوية للبوتاسيوم تحتوى على شوائب من الروبيديوم.

2 - **البوتاسـيوم** K^{40} يتحـول هـذا العنصـر إلي الارجون 40 مع اكتسـاب إلكترون . ونصـف عمر البوتاسـيوم 1.3 بليون عـام . وتطبق هده الطريقة على الصـخور القاعدية (البازلت) والنيازك وبعض الصخور الرسوبية.

3 - **اليورانيوم** U^{238} يتحول هذا العنصـر إلى رصـاص 206 ويصـل عمره النصفي إلى 4.5 بليون عام.

4 - **اليورانيوم** U^{235} يتحول هذا العنصر إلى رصاص 207 ويصل عمره النصفي إلى 710 مليون عام.

5 - **الكربـون** C^{14} يتحـول هـذا العنصـر مع فقدان جسـيم بيتـا الى نيتروجين 14. ونصـف عمر الكربـون المشـع 5.6 بليون عام. وتطبـق هده الطريقـة على بقايا الكائنات الحية مثل الخشـب والأصـداف الحاوية لكربونات الكالسيوم حيث أن في الكربونات الذائبة في ماء البحار نسـبة ثابتة من الكربون المشـع، حيث يمكن استعمال هذه البقايا في تقدير عمرها المطلق أو عمر الصخور الحاوية لها.



2- طريقة تحديد الزمن الجيولوجي النسبي

هـذه الطريقة تعتمد على الاستراتجرافية في تحديد العمر النسبي للصخور الطبقية حسب الترتيب الزمني لتسلسل الأحداث وعلى متابعتها لمسافات كبيرة. فهذه الطريقة لا تحدد عدد السنوات وإنما يتم فيها تحديد أحداث ما وقع قبل أو بعد الآخر. ولمعرفة العمر النسبي لهذه الأحداث، يحدد نظام الترتيب الزمني لها عن طريق بعض الأسس الجيولوجية التالية :-

أ - قانون (مبدأ) تعاقب الطبقات: Law (principle) of Superposition of Strata

التتابعات الطبقية التي لم تتعرض لتشوهات شديدة والتي تنتج عن الحركات التكتونية تكون فيها الطبقات السفلية هي الأقدم، والعلوية هي الأحدث وذلك ما لم تكن قد تعرضت هذه الطبقات الى عوامل تكتونية مثل الطي أو التصدع.

ب – المضاهاه: Correlation

يمكن متابعة الطبقات التي أمكن معرفة تسلسلها الزمني في منطقة ما بتطبيق قانون تعاقب الطبقات في عدة مناطق مختلفة. وتسمى عملية ربط الطبقات المتماثلة أي التي ترسبت في وقت واحد على مسافات طويلة بالمضاهاة.

ج - القاطع: Dyke

أي طبقات صخرية يتخللها قاطع صخري (صخر ناري) يكون فيه الجسم القاطع أحدث من الطبقات الصخرية المقطوعة.

د – التتابع الأحفوري: Fossils

يتم تحديد العمر النسبي عن طريق الاحافير النباتية والحيوانية الموجودة في السجل الجيولوجي في ترتيب محدد، وكل فترة جيولوجية يمكن تمييزها عن طريق أنواع من الاحافير المميزة لها (الجدول 4-1).



8-4 الصخور المتحولة Metamorphic Rocks

الصــخور المتحولة هي تلك الصخور المشتقة من صــخور أخرى، كانت صخوراً نارية، أو رســوبية، أو متحولة، حيث تغــير تركيبها المعدني، وقوامها، وبناؤهابفعل الضــغط والحرارة العاليين، تحت الأعماق، في القشرة الأرضية. وتشمل هذه التحولات إعادة التبلور، والتفاعلات الكيميائيــة بــين المكونــات المعدنية للصــخر، إلا أنه قد يحــدث بعض التبــادل الكيميائي مع الســوائل وخاصــة الماء H_2O. لذلك تكون الظروف التي تتكون فيها الصخور المتحولة ظروفاً وســطاً بين تلك التي تتكون فيها الصخور الرســوبية على السطح والظروف التي تتبلور فيها الصــخور النارية من الصــهير. ينتج عن عملية التحول معادن جديدة أو يكبر حجم المعادن الموجودة في الصــخر الأصــلي كلما تعرض هذا الصخر لشدة التحول، وينتج عن ذلك إعادة فى ترتيب المعادن وتركيبها، كما ينتج نوعان من النسيج هما:-

1- النسيج المتورق Foliated Texture

تشــبه بلورات المعادن في الصخور المتحولة المتورقة، التي تكون إما مستطيلة أو تكون على هيئة صــفائح. وخلال حــدوث عملية التحول فــإن ارتفاع درجة الحرارة والضــغط يجعلان بلورات المعادن تكبر ويصبح التورق أكثر وضوحا.

2- النسيج الغير متورق Unfoliated Texture

تتميز صــخور هذا النوع بنسيج حبيبي، ولا يظهر بها ظاهرة التورق، لذلك فهي تصنف حســب تركيبها المعدني. والمعادن التي تحتويها هذه الصخور غالبا ماتتكون من الكالسيت أو المرو الذى لا يتميز بالاســتطالة أو الشــكل الصــفائحي، وتتأثر هذه الصخور بفعل الحرارة فقط.

1-8-4 عوامل التحول

يعتبر الحرارة والضــغط بالإضــافة إلى المحاليل النشــطة كيميائيا أهم عوامل التحول، فيمكن أن ينتج الضغط والحرارة من تأثير تراكم الصخور بعضها فوق بعض أو بفعل الطاقة الناتجة عن الحركات الأرضية. هذا وتنتج تأثيرات مختلفة لكل من الضغط والحرارة يمكن



معرفتها بدراسة الصخور المتحولة. ولكن في كثير من الأحيان يكون الفصل بين تأثير كل من الحرارة والضغط في الصخور أمرا عسيرا، وذلك لأن معظم الصخور المتحولة تتأثر بهذين العاملين معا. والعمليات التي تؤدى إلى تحول الصخور يمكن تقسيمها كالآتي:-

- تغير ميكانيكي في الشكل Mechanical Deformation

يحدث هذا التغير نتيجة الضغط العالي، ويؤدى هذا الضغط إلى إعادة ترتيب المعادن المسطحة الشكل مثل المايكا بحيث يكون مستوى تسطحها عموديا بالنسبة لاتجاه الضغط.

- إعادة التبلور Recrystallization

ينتج عنه تكون بلورات كبيرة من عدة بلورات صغيرة موجودة في الصخر الأصلي قبل التحول. وكلما زاد مقدار التحول في الصخر زاد حجم بلوراته. وتتم إعادة التبلور في الصخور نتيجة تأثير الحرارة عليها. وتساعد السوائل الموجودة في الفجوات التي تتخلل الصخور هذه العملية كثيرا.

- إعادة التنظيم الكيميائي Chemical Recombination

يمكن أن تنمو معادن جديدة في الصخور نتيجة لتكون بلورات جديدة باستخدام العناصر الكيميائية المكونة للمعادن الموجودة في الصخر الأصلي قبل أن تؤثر عوامل التحول فيه. وهنا أيضا يكون أثر السوائل المائية التي تتخلل الفجوات في الصخر كبيرا، فتساعد هذه السوائل على إحداث تحرك الأيونات اللازمة لإعادة ترتيب البلورات وإعادة التنظيم الكيميائي للعناصر الموجودة في الصخور. وهذه العمليات تحدث في أغلب الأحيان نتيجة للارتفاع في درجة الحرارة.

- الاستبدال الكيميائي Chemical Replacement

تستبدل بعض العناصر بأماكنها أماكن عناصر أخرى في التركيب البلوري للمعادن الموجودة أصلا في الصخر قبل أن يتحول. وهنا أيضا تلعب السوائل المائية المتخللة للفجوات الموجودة في الصخر دورا كبيرا بتسهيل حركة الأيونات اللازمة لإحداث الاستبدال الكيميائي.



ويمكـن أن تكون هذه الأيونـات موجودة على هيئة محاليل في داخل هذه السـوائل التي تنقل الأيونات من صخور أخرى أو من صهارة قريبة من منطقة التحول.

2-8-4 أنواع التحول

يقسم التحول حسب البيئات التي يتحقق فيهاإلى أنواع أربعة كالتالي:

1- التحول التهشمي

يحـدث هـذا النوع مـن التحول تحت ضـغط موجـه كبير قرب السـطح حيث الضـغط الهيدروسـتاتيكي، والحرارة يكونا منخفضـين، ليؤدي الى تهشم الصخور وطحنها، من دون تكون معادن جديدة.

2- التحول الحراري

يعرف أحياناً بالتحول التماسي لأنه يحدث في الصخور الملامسة أو المحيطة بالتداخلات النارية، وخاصـة ذات التركيب الحمضـي. ولا تأثير يذكر للضغط في هذا النوع من التحول، لأنه منخفض وذلك لحدوث اغلب هذا التحول قرب السطح. كما يحدث التحول الحراري في مناطق التماس بين صـخور القشـرة الأرضية والصهير الصاعد من أعماق الأرض في اتجاه السطح، وتوجد الصخور التابعة لهذا النوع من التحول بجوار الأجسام النارية مثل اللاكوليث والباثوليـت والقواطع والسـدود. وينتج هذا التحول في الأصـل من أثر الحـرارة والغازات أو السـوائل الغنية بالأيونـات المعدنية الناتجة من المراحل المتأخرة في تبلور الصـهارة. وتتميز صـخور التحول الحراري بالنسـيج غير المتورق Unfoliated Texture وذلك بسـبب غياب عامل الضغط.

3- التحول الإقليمي

يعتـبر التحـول الإقليمي أكثر أنـواع التحول انتشـاراً وتنوعا ويتم التحول ببطء شـديد. والصـخور المتحولـة الناتجـة مـن التحـول الإقليمـي (الشـكل 4-11) تشـكل مسـاحات شاسـعة مـن دروع تعود إلى مـا قبـل الكامـبري Precambrian Eon وفي المناطق العميقة في أحزمـة جبـال الطي المنكشـفة على السـطح بفعل التعرية. وقد اسـتدل من الدراسـات



الحقليـة والبتروجرافيـة علـى أن هذا النوع من التحـول ينجم عن كل من الحـرارة العالية والضـغط. ويحدث هذا التحول عندما تتعرض صخور القشـرة الأرضية للحركات التكتونية (Organic tectonic movements)،الحـركات البانيـة للجبـال) والتي ينشـأ عنها بناء السلاسـل الجبلية مثل جبال الأطلس في شـمال غرب أفريقيا، وجبال الألب في أوربا وجبال الهيمالايا في آسـيا الناتجة عن اصـطدام لوح قارة أفريقيا باللوح الأوروبي الأسيوي. ويكون تأثير الضغط في هذا النوع من التحول أكثر أهمية من تأثير الحرارة. وهنا يؤدى التحول إلى تغيير ميكانيكي في شـكل الصـخور وإلى إعادة تبلور الكثير من المعادن مع بعض الإعادة في التنظيم الكيميائي للمعادن التي هي أقل ثباتا تحت الظروف السائدة أثناء التحول. والمعادن الطينيـة تمثـل أمثلة جيدة للمعـادن غير الثابتة والسـريعة التأثير بالتحول. أما الاسـتبدال الكيميائي فحدوثه نادر نسبيا إذ يحتاج إلى تأثير السوائل والمحاليل الحارة الحاملة للأيونات المختلفة التي تنتج من المراحل المتأخرة من تبلور الصـهارة. وبما أن صخور التحول الإقليمي هي نتاج الضغوط الاتجاهية والحرارة، فإن نسيجها عادة يكون متورقا Foliated Texture.

4- التحول الطمري

يحدث هذا النوع من التحول في أحواض الترسـيب العميقة التي يصـل سـمك صخورها الرسوبية إلى عدة آلاف من الأمتار نتيجة زيادة درجة الحرارة والضغط مع العمق.

3-8-4 تصنيف الصخور المتحولة

يتم تصنيف الصـخور المتحولة أساساً على النسيج الشائع فيه والتركيب المعدني. ويمكن تقسـيم الصـخور المتحولة إلى صخور متورقة وغير متورقة (الجدول 4-3). وأهم أنواع هذه الصـخور ما يلي:

1- الصخور المتحولة المتورقة Foliated Metamorphic Rocks

أ- الأردواز Slate

صـخر الإردواز صـخر متـورق أو مترقق النسـيج ودقيـق الحبيبـات ومتجانس. ويمكن تقشـيره على شـكل رقائق موازية لأسطح الترقق، وأصله طفل صـفائحي. وهو مكون أساساً



من معادن الكلورايت والمسكوفايت والبايوتايت، وهو على شكل حبيبات دقيقة جداً ولاترى بلوراته بالعين المجردة. وينتج صخر الإردواز من التحول الإقليمي للصخور ناعمة القوام مثل الطفل Shale، والحجر الطيني Mudstone، والفتات البركاني Volcanic debris.

ب- الفيلايت Phyllite

عندما تزيد درجة التحول الإقليمي على الدرجة التي يتكون عندها صخر الإردواز فإن بلورات بعض المعادن يزداد نموها مع احتفاظها بتوجيهها المفضل الموازي لأسطح الترقق مما يعطي تلك الأسطح لمعاناً حريرياً مميزاً تحت ضوء الشمس نتيجة لانعكاس الضوء من على مستويات الانفصام لمعادن المسكوفايت والبايوتايت والكلورايت. ويطلق على هذا النوع من الصخور المتحولة اسم صخر الفيلايت. ويمكن تمييز بعض بلورات معادن العينات اليدوية بالعدسة إلا أنها لاتزال غير مرئية بالعين المجردة. والمايكا الموجودة فيه تضفي على الصخر لمعانا حريريا مميزا.

ج- الشيست Schist

يعتبر صخر الشيست أكثر أنواع الصخور المتحولة شيوعاً، حيث أنه عندما يزداد الضغط والحرارة يتحول الفيلايت إلى شيست بحيث يمكن رؤية بلورات المايكا بالعين المجردة وهي مازالت تحتفظ بتنظيمها العمودي على اتجاه الضغط. ويتميز الشيست بتورقه الواضح، وغالباً ما يكون مخططاً أيضا. كما أن حجم بلورات معادنه عادة ما يكون كبيراً لدرجة تسمح بالتعرف عليها بعدسة اليد. وينتج صخر الشيست من التحول، خاصة التحول الإقليمي، من صخور الطفل والحجر الطمي. وهناك العديد من أنواع الشيست، حسب المعدن السائد فيه، مثل شيست المايكا (Mica Schist)، وشيست الكلورايت (Chlorite Schist)، وشيست التلك (Talc Schist).

د- النايس Gneiss

يطلق اسم النيس على الصخور المتحولة المتورقة التي تكون فيها بلورات المعادن حبيبية أكثر منها صفائحية، حيث أنه بزيادة تأثير الحرارة تتكون معادن أخرى وتزداد أحجام البلورات.



ويتكون صخر النايس أساساً من معادن المرو والفلسبار البوتاسي والفلسبار الصودي إضافة إلى بعض المسكوفايت والبايوتايت والهورنبلند. ويتميز صخر النيس بتمايز الرقائق الداكنة اللون الغنية بمعادن البايوتايت والهوربنلند عن الرقائق الفاتحة اللون المكونة أساساً من معادن المرو والفلسبارات. وهذا التمايز يجعل الصخر يظهر على شكل نطاقات داكنة وأخرى فاتحة تعقب بعضها بعضاً وهذا ناتج عن تأثير ضغوط التحول.

ذ- الأمفيبولايت Amphibolite

يعتبر صخر الأمفيبولايت صخر متحول ضعيف التورق ومكون أساساً من معادن الأمفيبول والبلاجيوكليز مع قليل من المعادن الأخرى. وإذا زادت شدة وضوح التورق في الأمفيبولايت، فإنه يعد صخراً متوسطاً بين الفيلايت والشيست ويطلق عليه أحياناً شيست هورنبلند، أو نيس هورنبلند. وينتج صخر الأمفيبولايت عادة من التحول الإقليمي تحت درجة تحول متوسطة إلى عالية.

ر- الصخر الأخضر Green Stone

يحتوي الصخر الأخضر على حبيبات دقيقة إلى متوسطة وتورقه ضعيف. ويتميز باللون الأخضر أو الأخضر الرصاصي نظراً لزيادة المعادن ذات اللون الأخضر، وخاصة الكلورايت، والأكتينولايت، والأبيدوت.

2- الصخور المتحولة غير المتورقة Unfoliated Metamorphic Rocks

يكون النسيج في هذا النوع من الصخور المتحولة حبيبيا وليس متورقاً. ومن أهم أنواعه ما يلي:

أ- الرخام Marble

صخر الرخام صخر متحول من الصخور الجيرية، مثل الحجر الجيري والدولوميت، حيث تلتحم حبيبات الكالسايت الدقيقة مع بعضها ويعاد تبلورها إلى بلورات كالسايت كبيرة. وهذه البلورات تتشابك في شكل فسيفسائي يعطى للرخام نسيجه المميز. ويكون لونه



أبيض عندما يكون نقياً. وهو مكون أساساً من معدن الكالسايت. ويتغير لون الرخام مع ازدياد الشوائب ليصبح وردياً أو رماديا أو أخضر أو أسود.

ب- الكوارتزايت Quartzite

يتسم صخر الكوارتزايت بالصلابة الشديدة. وهو مكون أساساً من معدن المرو. وينشأ هذا الصخر من تحول الحجر الرملي المروي تحت درجة تحول عالية، حيث تلتحم حبيبات المرو في الحجر الرملي نتيجة للارتفاع الشديد في درجة الحرارة، ولهذا تكون صلابته شديدة مثل صلابة حبة المرو. ويأخذ صخر الكوارتزايت اللون الأبيض، عندما يكون نقياً لكنه عادة ما يحتوي على بعض أكاسيد الحديد، التي تعطيه الصبغة الحمراء أو الوردية. ويحتوي أحياناً على بعض المعادن الداكنة مما يضفي عليه اللون الرمادي.

ج- الهورنفلس Hornfels

ينشأ هذا الصخر عند تعرض الطفل لعملية التحول. وهو يتميز بحبيبات دقيقة جدا لا ترى إلا بالمجهر. كما يتميز بكثرة حبيبات المايكا، وينشأ أيضا الهورنفلس من البازلت، ولذلك تكثر فيه حبيبات دقيقة من الأمفيبول.



إردواز	فيلايت	شيست
نيس	أمفيبولايت	الصخر الأخضر
الرخام	كوارتزيت	هورنفلس

الشكل (4-11) : يوضح صخور التحول الإقليمي والحراري



الجدول (3-4) : أنواع الصخور المتحولة حسب خواص نسيجها

(after Hamblin and Howard, 1980)

النسيج		حجم الحبيبات	اسم الصخر		الصخر الأصلي
متورق	اتجاه متوازي	دقيقة جدا (لا ترى بالعين المجردة)	إردواز	زيادة شدة التحول ↓	طفل
		دقيقة (ترى بصعوبة)	فيلايت		طفل
		متوسطة إلى خشنة (ترى بالعين المجردة)	شيست		طفل، جرانيت، صخر بركاني
		متوسطة إلى خشنة (مخطط)	نيس		طفال، جرانيت، صخر بركاني
غير متورق		متبلور (دقيقإلى خشن)	رخام		حجرجيري ، دولوميت
		دقيقة إلى خشنة	كوارتزيت		كوارتز
		دقيقة	هورنفلس		طفل، بازلت





الفصل الخامس

نشـــأة الأرض

Origin of the Earth

1-5 مقدمة

عانت صـخور القشـرة الأرضـية من تغير تركيبي كبير خلال الزمن الجيولوجي، وهذه الصـخور مازالت تتغير حتى اليوم بواسـطة عوامل جيولوجية منها الظواهر التكتونية. هذه الظواهر التكتونية تحدث في العادة بدرجة بطيئة وغير محسوسـة وذلك خلال فترات زمنية طويلـة، ولكن بعضـها مثـل الزلازل تحدث فجـأة وبعنف. وقد تتحرك الصـخور رأسـيا في بعض الأحيان فتسـبب رفع سـطح الأرض أو هبوطه، كما قد تتحرك أيضـا أفقيا أو جانبيا كنتيجة لضغط أو شد. وهناك نوعين رئيسيين للحركات التكتونية وهما الحركة الأبيروجينية Epirogeny أي البانية للقارات (وهي حركة تتحرك لأعلى) والحركة الأوروجينية Orogeny أي البانية للجبال (وهي حركة جانبية في أغلبها).



الحركات البانية للقارات هي حركات بطيئة نسبيا يصاحبها رفع كبير أو هبوط للقارات ومثل هذه الحركات على مساحات شاسعة نسبيا وتؤدي في العادة إلى إمالة أو تقوس سطح الأرض. وقد يسبب الرفع من هذا النوع ارتفاعا للمصاطب التي صنعتها الأمواج والجروف البحرية إلى ما فوق مستوى سطح البحر. وتكثر هذه الملامح في أجزاء معينة من شواطئ المحيط الهادي، وبطريقة مشابهة فإن أجزاء من ساحل شبه جزيرة اسكندنافيا ترتفع حوالي 90 سم كل قرن من الزمان. وقد يحث أيضا هبوط للقارات، فبعض مناطق من القارات تهبط ببطئ تحت مستوى المحيط وتصبح مغمورة تحت بحار ضحلة. ومثل هذه الحركات قد كانت السبب في انفصال الجزر البريطانية عن قارة أوروبا وتكوين خلجان في الوديان الغارقة. وقد يحدث الغمر أيضا بسبب تزايد ارتفاع مستوى البحر.

الحركات البانية للجبال هي أكثر شدة من الحركات البانية للقارات وقد تتعرض الصخور المتأثرة بها إلى إجهاد كبير، وهذه الحركات تؤثر على مناطق طويلة وضيقة وتصحبها طيات وصدوع كثيرة. ومن المعتقد أنها تنتج من ضغط أفقي، وينتشر النشاط الصهاري والزلزالي مع هذا النوع من تشويه القشرة، ومع أن حركات بناء الجبال بطيئة في طبيعتها لكنها تحدث بسرعة أكبر نسبيا من الحركات الأبيروجينية.

2-5 كيفية تشوه الصخور Deformation of Rocks

يرجع تشوه الصخور إلى تأثير القوة أو الضغط الذي يسبب تحرك الصخور. وهذه القوة مرتبطة بما يسمى بالجهد Stress الذي يكون على شكل شد Tension أي جهد بالتمدد ويؤدي إلى زيادة في الحجم، أو يكون على شكل انضغاط Compression وهو جهد بالكبس يؤدي إلى تقليل الحجم، أو على شكل جز (قص) shear فيحدث تغيرا في الشكل دون أي تغير في الحجم، وعندما تتعرض الصخور للجهد فإنها تعاني من التشويه إذ يحدث لها تغير في الشكل دون أي تغير في الحجم، وعندما تتعرض الصخور للجهد فإنها تعاني من التشويه إذ يحدث لها تغير في الشكل أو في الحجم أو كليهما، وهذه الاستجابة للجهد تعرف باسم الانفعال Strain. المواد الصلبة المرنة هي التي تعود إلى حالتها الأصلية عند زوال



الجهـد الذي أثر عليها وغير شـكلها أو حجمها أثناء حدوثه، ويمكن تشـبيهها بمرونة حزام من المطاط الذي يمكننا تمديده ولكن إذا تركناه فإنه يعود إلى شـكله الأصـلي. هناك تشـوه بلاسـتيكي حيث في هذا النوع تعاني المادة الصـلبة من تغير مستمر في الشكل، ويصبح هذا التغـير دائمـا لأن المادة لا تعود مرة أخرى إلى شـكلها الأصـلي. بعض الصـخور يحدث لها تمزق حيث تصل الصخور إلى نقطة الكسر عندما يتعدى الجهد الحادث حدود قوة احتمال الصخر، ويعتقد أن إزاحة الصخر بسبب الكسور هي السبب المباشر لحدوث معظم الزلازل.

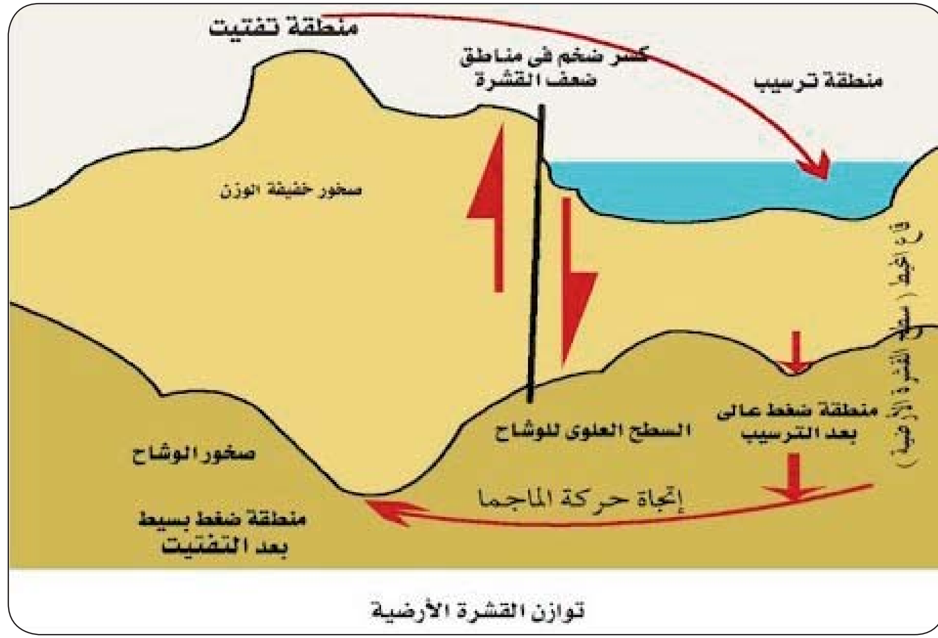
3-5 نظرية التوازن Isostasy

تنص نظرية التوازن على أنه عند عمق كبير داخل الكرة الأرضـية يحدث توازن لأجزاء القشـرة المختلفـة بالرغم من اختلاف سـمكها، ويعزى اختلاف ارتفاع أجزاء القشـرة إلى اختلاف كثافة كل منها بالنسـبة للآخر، وبالتالي فإن القارات والمناطق الجبلية ذات ارتفاع كبير نسـبيا لأنها تتكون من صـخور ذات كثافة منخفضـة، بينما تنخفض قيعان المحيطات لأنها تتكون من صـخور أكبر كثافة، وكلما حدث تحات في صخور القارات وترسب الفتات في المحيط، فإن قاع المحيط يهبط لأسـفل بسبب ثقل الرسـوبيات الفتاتية المتجمعة عليه، وهذا يسبب إزاحة الصخور التشكيلية تحت القشرة فتندفع القارات إلى أعلى، وهكذا فإن تحرك القـارات لأعلـى يعـود إلى عوامل النحت التي تزيل مزيدا من صـخور القشـرة القارية مما يجعل الأخير أكثر خفة وتصبح معرضة لمزيد من الارتفاع.

والسؤال المطروح الآن هو كيف يمكن أن تطفو أجزاء القشرة. هناك تفسيران مختلفان افترضهما العالمان الإنجليزيان إيري وبرات في منتصف القرن التاسع عشر، وطبقا للتفسير الأول الذي قدمه إيري فإن أجزاء القشرة الأرضية يمكن مقارنتها بجبلين من الثلج طافيين في البحـر، وكلاهمـا له نفس الكثافـة ولكنهما يطفوان في ماء البحر الـذي تزيد كثافته عن كثافة الثلج، فإن وصـل ارتفاع أحد الجبلين الثلجيين إلى ثلاثة أضعاف ارتفاع الجبل الثاني فإن الجزء المغمور من الجبل المرتفع يصل عمقه إلى ثلاثة أضعاف الجزء المغمور من الجبل الثاني، ومعنى هذا أن جذر الجبل الثلجي يمكنه أن يحافظ على توازنه الإسـتاتيكي، وبنفس



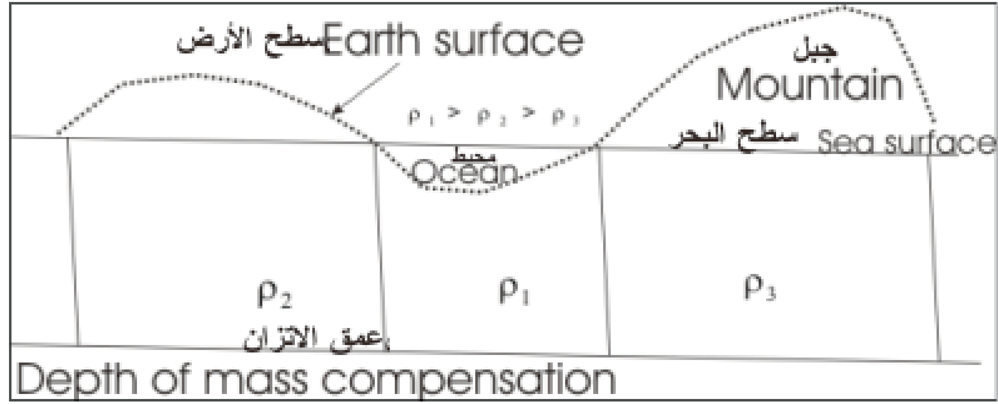
المنطق فإن السلاسـل الجبلية (التي تتكون من صـخور ذات كثافة منخفضـة نسبيا) تطفو بشـكل أكثر ارتفاعا فوق الأستينوسـفير من الشرائح التي تكون قشرة المحيط الأعلى كثافة، وبالإضـافة إلى ذلـك فإن القشـرة القارية التي تكـون الجبل تمتد في الأستينوسـفير مكونة جذورا مثل جذور جبل الثلج (الشكل 5-1).



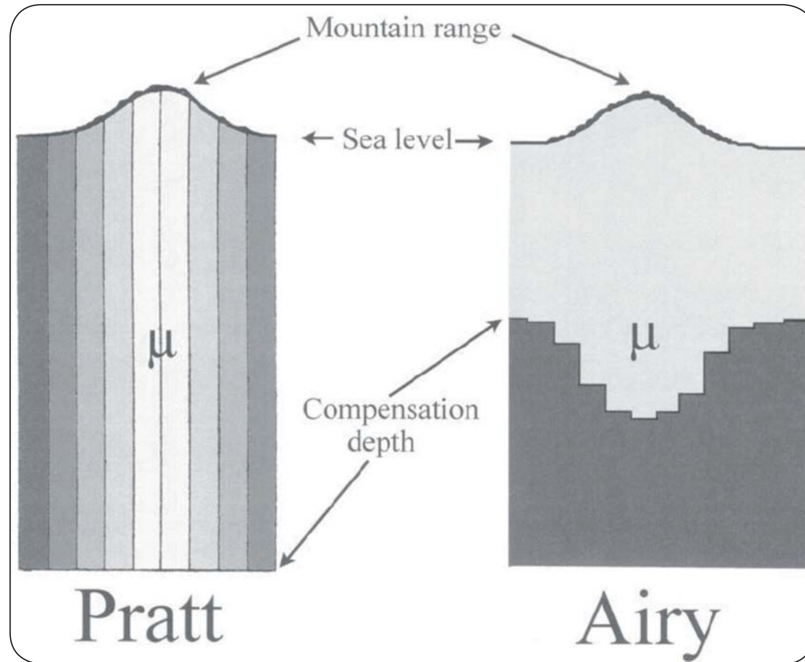
الشكل (5-1): يبين افتراض العالم إيري لنظرية الاتزان

أما التفسير الآخر الذي وضعه العالم برات فيفترض أن الطبقة السفلية التي تطفو عليها القشـرة لها نفس الكثافة، ولكن الشـرائح المختلفة من قشـرة الأرض لهـا كثافات مختلفة، وافترض أن الشـرائح الجبلية لها كثافة أقل من الشرائح التي تكون قاع المحيط، وهكذا فإن القشـرة تمتد بنفس المسـتوى في الطبقة السـفلية ولكن لا توجد الجذور التي افترضها إيرى (الشكل 5-2).





نظرية برات



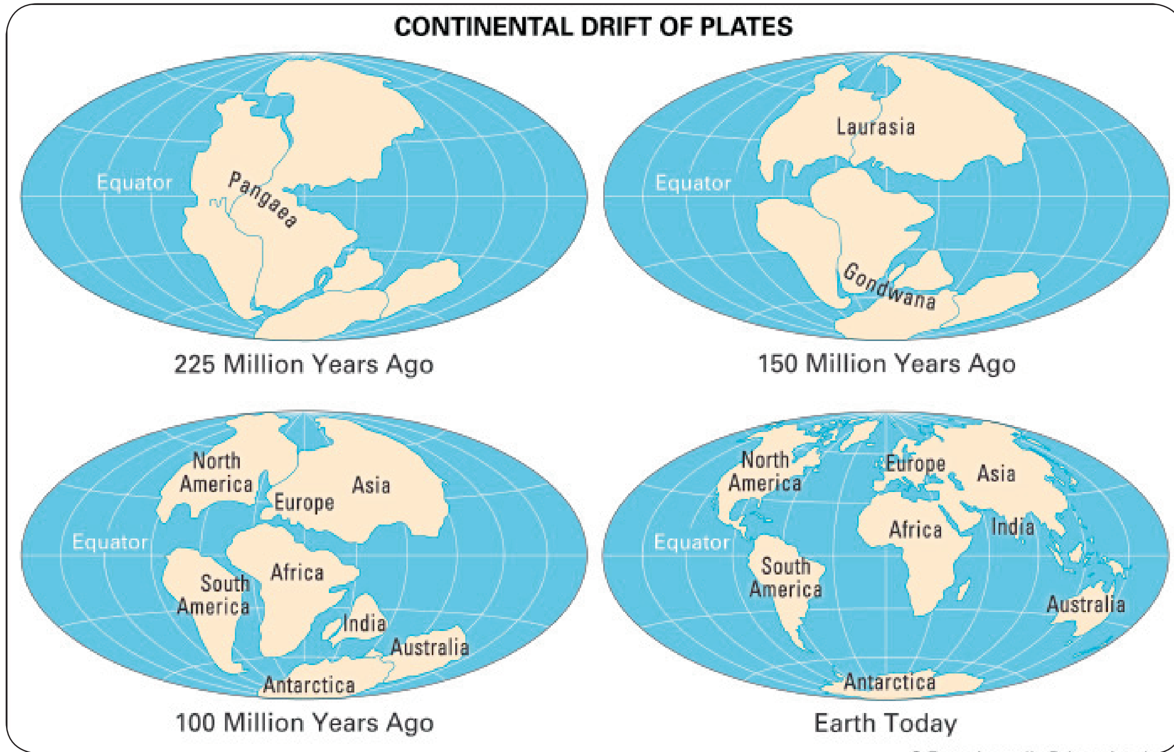
الشكل (2-5) : يوضح نظرية الاتزان من خلال فرضيتي العالمين برات وإيري

4-5 الانجراف القاري Continental Drift

لم تكن اليابسة موزعة بالصورة الحالية على سطح الأرض في الأزمان السابقة منذ نشأة وتكوين اليابسة بل يعزى توزيع القارات الحالية بهذه الصورة إلى عملية التصدع وتمزق قارات أقدم منها ثم زحف وانجراف الكتل المنفصلة بعضها عن بعض واستقرارها في



أوضاعها الحالية مكونة القارات الحديثة (الشكل 5-3). يعرف زحزحة القارات في المكان على سطح الأرض بظاهرة الحيود القاري أي أن قطع الأرض المتمثلة في جبالها وقاراتها ليست جامدة في مكان واحد ولكنها تتجول في الفراغ. لاحظ العلماء التشابه العجيب بين حواف القارات على جانبي المحيط الأطلسي وأيضا التشابه بين الكائنات في كل من أوروبا وأمريكا الشمالية. أيضا وجد تشابه بين سواحل قارتي أفريقيا وأمريكا الجنوبية واعتبر المحيط الأطلسي ما هو إلا واديا كبيرا منحوتا بفعل المياه.



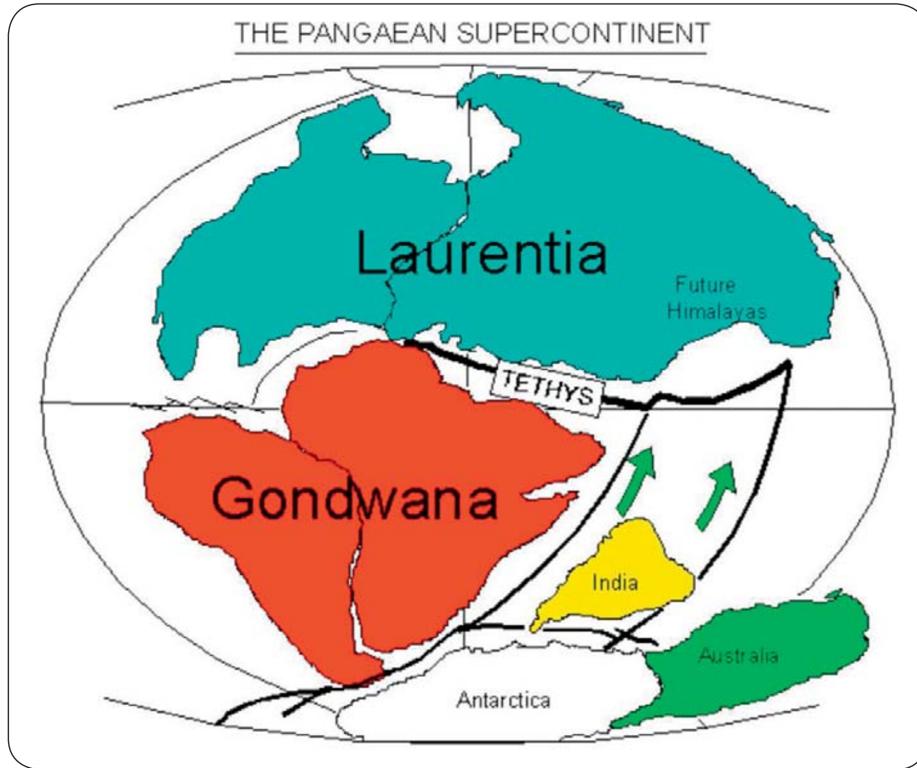
الشكل (5-3): يوضح نظرية الانجراف القاري

ولقد لاحظ الجيولوجيون أن السجل الجيولوجي يكاد يكون متماثلا في القارات الجنوبية في كل من أمريكا الجنوبية وأفريقيا، والهند، وأستراليا. ومن هنا تم التفكير على اتحادهم في وقت ما من الزمن الجيولوجي مكونا قارة عملاقة أسموها جندوانالاند Gondwana land، ولقد أشتق هذا الاسم من منطقة في الهند تسمى جندوانا وهي قارة كبيرة يفترض



أنها كانت تحتل النصـف الجنوبي من الكرة الأرضـية (الشـكل 5-4) والتي بعد تصـدعها وتمزقها إلى كتل أصـغر انجرفت وابتعدت معظمها عن بعض نتيجة حركة الألواح الأرضـية لتكـون قـارات أمريـكا الجنوبيـة، أفريقيا، الجزيـرة العربية، مدغشـقر، الهند، سـيلان، استراليا، نيوزيلندا، ثم القارة القطبية الجنوبية.

ويعـد العالم الفريد فاجـنر Alfred Wegner (1880-1930 م) صـاحب مبدأ الحيود القاري وقد كان أول من أشار إلى وجود كتلة كبيرة جدا من اليابسة كونت قارة عملاقة اسمها بانجيا Pangea تكونت من التحام القارات القديمة وإن كان البعض يرى أن الالتحام القاري لم يكـن كاملا وفضـلوا إطلاق كلمـة لوراسـيا Laurasia على الكتلة القارية الشـمالية وكلمة جندوانا على الكتلة القارية الجنوبية (الشكل 5-4). وقد توقع فاجنر أن بانجيا أخذت تتحطم في حقب الحياة المتوسطة ثم أخذت أجزاؤها تتباعد حتى أخذت أشكالها ومواضعها الحالية.



الشكل (5-4): يوضح أرض بانجيا

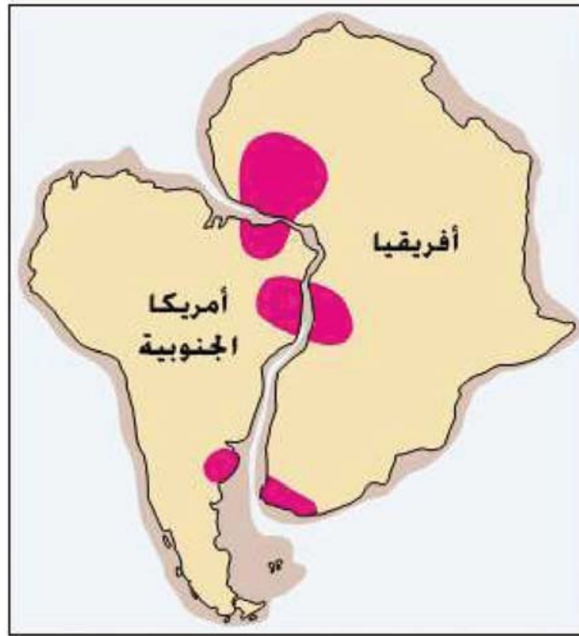


1-4-5 شواهد الحيود القاري

هناك مجموعة من الدلائل على الحيود القاري يتم سردها كالتالي:

أولا الشاهد الجغرافي

كان ذلك واضحا من خلال التطابق الواضح بين خط الساحل الشرقي لقارة أمريكا الجنوبية وخط الساحل الغربي لقارة أفريقيا (الشكل 5-5) والذي يدعو لتصور أنهما كانتا متحدتين في وقت ما ثم انفصلتا فيما بعد. أيضا لوحظ تشابه الوحدات الصخرية والبنيات الجيولوجية على جانبي شواطئ الأطلسي وأيضا التطابق الواضح في طباقية وحفريات نصف الكرة الجنوبي أثناء جزء محدد من الزمن الجيولوجي كما يتضح من تكوينات جندوانا Gondwana Formations في الهند وجنوب أفريقيا ومدغشقر و أمريكا الجنوبية وجزر فوكلاند.

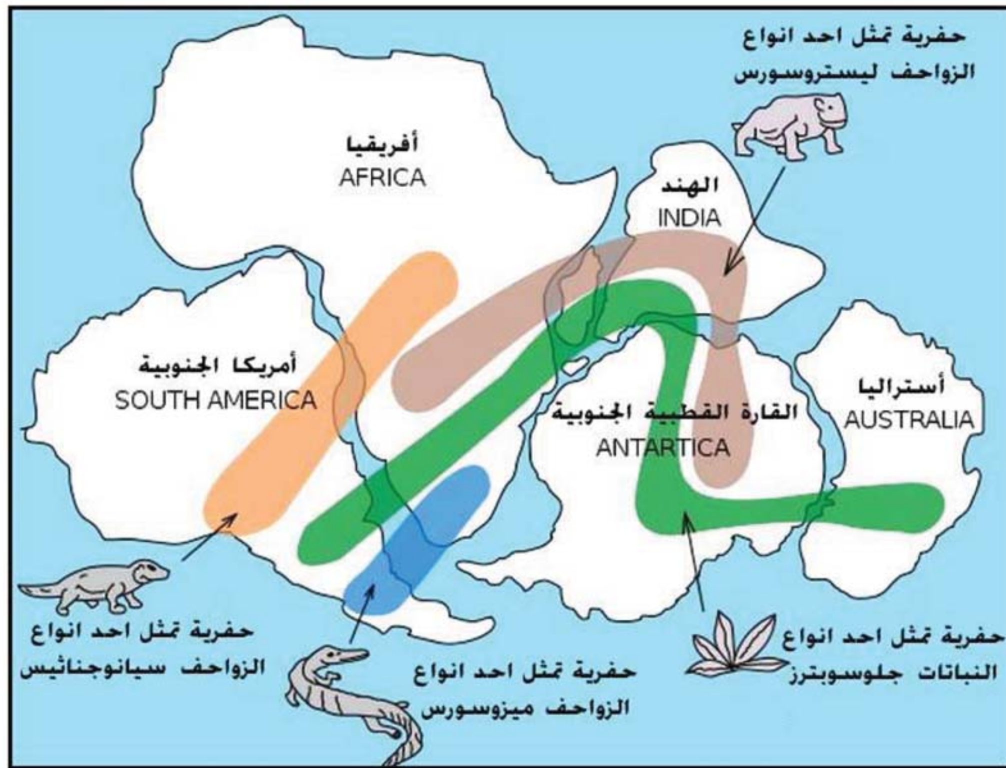


الشكل (5-5): التطابق الواضح بين خط الساحل الشرقي لقارة أمريكا الجنوبية وخط الساحل الغربي لقارة أفريقيا



ثانيا شاهد من السجل الأحفوري

انتشــرت أوائل النباتات على اليابســة فنجد أن خلال العصر الكربوني تميزت النباتات بتجانســها على مستوى العالم ومن أهم النباتات نبات جنس جلوسوبترز Glossopteris في نصف الكرة الجنوبي والذي يشير أن هذه القارات كانت متصلة ببعضها البعض في يوم ما، حيث من المســتبعد انتقال بذور نباتات الجلوســوبترز لمســافة طويلة نظرا لأنها ثقيلة وكبيرة الحجم. يدل أيضا توزيع الزواحف في أماكن متفرقة من جندوانا مثل زواحف الميزوصورس Mesosourus في جنــوب أفريقيــا وجنــوب البرازيــل وكذلــك زاحــف لايستروصــورس Lystrossaurs في كل من جنوب أفريقيا والهند وجنوب أفريقيا وجنوب شــرق آســيا وقارة الأنتاركتيا (الشكل 5-6)، كل ذلك يشير إلى وجود اتحاد بين قطع جندوانا أثناء غزوها هذه الكائنات.

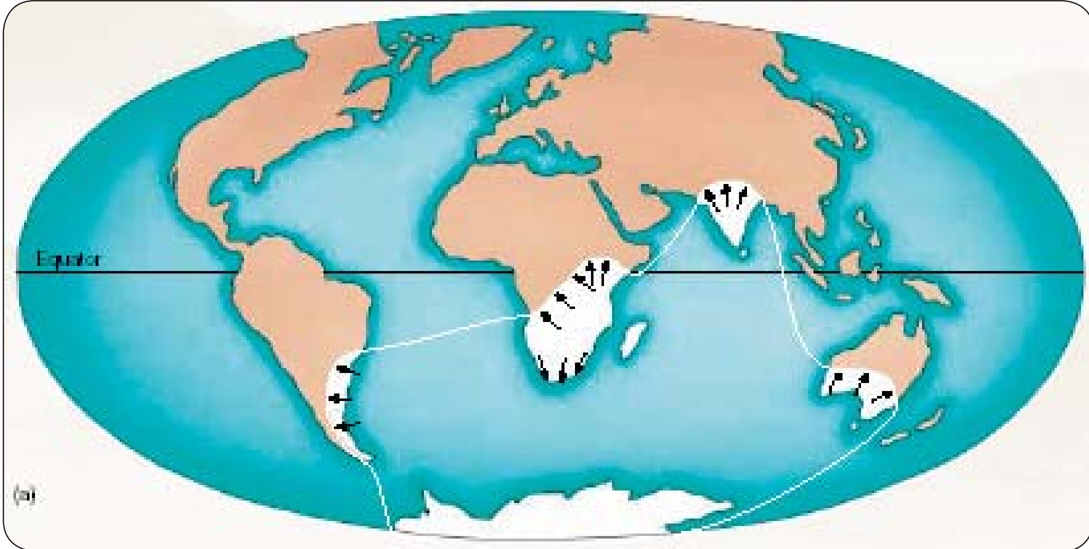


الشكل (5-6): يبين توزيع النباتات والزواحف في أماكن متفرقة من أرض جندوانا



ثالثا شواهد من اتجاه وتوزيع الجليد:

قـد تعطـي الاعتبارات المناخيـة دليلا يدعم نظريـة الحيود القاري حيـث تلعب خطوط العرض دورا رئيسـيا في تحديد المناخ السـائد، ففي المناطق الاستوائية يكون المناخ أدفأ مما في المناطق القطبية وأيضـا تعكس الصخور الرسـوبية الظروف المناخية السائدة أثناء زمن ترسـيبها وأيضـا النباتات. وقد وجد أن الرواسـب الجليدية لم تكن موجودة فقط في أماكن بعيدة عن الأقطاب الحالية مثل الهند وأفريقيا ولكن اتجاه الزحف الجليدي تتجه بعيدا عن خط الاستواء ونحو الأقطاب (الشكل 5-7) وهذا يشير إلى التحام القارات في أزمنة ماضية.



الشكل (5-7): يبين اتجاه الزحف الجليدي

رابعا شواهد من علم المناخ القديم

مـن خلال توزيعات الشـعاب المرجانية القديمة التي تدل على سـبق وجود بحار ضـحلة وطبقات الفحم الحجري التي تكون من نباتات عاشت في جو حار رطب والتي تتواجد الآن في أماكن في العالم يصعب نموها أمكن التأكد من نظريه زحف القارات.



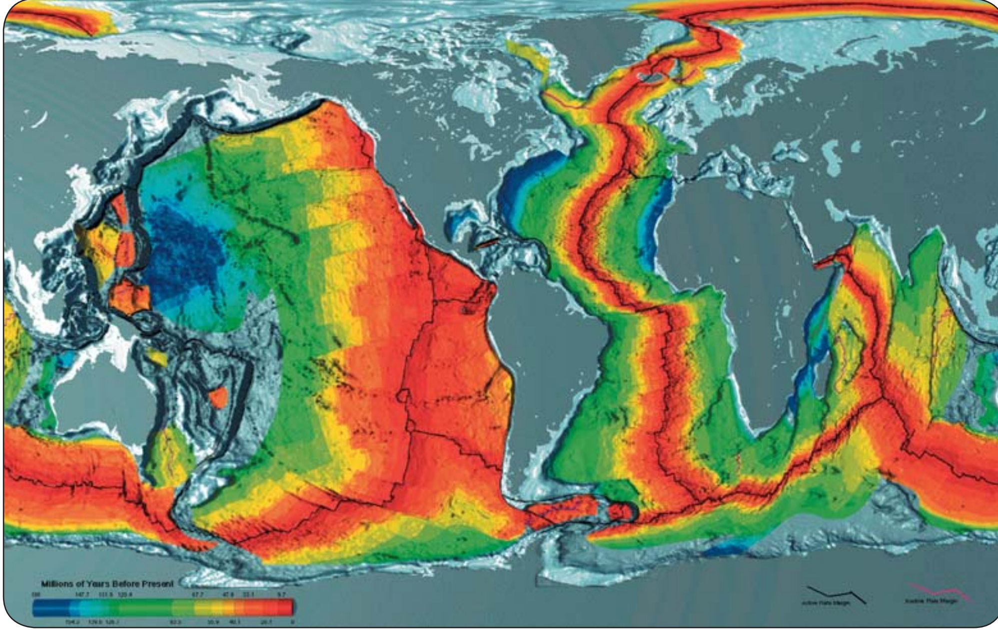
خامسا شواهد من المغناطيسية القديمة

تمتاز مغناطيسية الأرض بأنها ليست ثابتة بل تدور وتنعكس على مر الزمان وتحتفظ المعادن القابلة للمغنطة (مثل الماجنتيت) بالمغناطيسية القديمة إبان تكونها ويظهر ذلك جليا أثناء دراسة حيود وسط المحيطات والتي تكونت على فترات زمنية متتالية منذ بداية نزوح القارات. وقد أيدت دراسة المغناطيسية القديمة في منطقة حيود وسط المحيطات على التوسع المستمر في قاع المحيطات ونزوح القارات ويظهر ذلك جليا في التغيرات في المغناطيسية للأشرطة على الجانبين (الشكل 5 -8).

سادسا شواهد من توسيع قاع البحار والمحيطات

هناك دليلا قويا يؤيد نزوح القارات ممثلا في شكل قاع البحار والمحيطات وخاصة في المحيط الأطلنطي بتواجد ما يسمى حيد بطول 1600 كم تحت سطح المحيط بين كل من أوروبا وأفريقيا من ناحية والأمريكيتين من ناحية أخرى ويسعى كالأفعى الضخمة فوق قاع المحيط بعرض حوالي 32 كم وترتفع حوالي 1.6 كم فوق قاع المحيط. وقد دلت البحوث أن قاع المحيط عند منطقة الحيد ليست مستقرة وأنها تزداد تدريجيا ويصاحب ذلك نشاط بركاني نتيجة الفتق وزيادة الاتساع (الشكل 5-9). ومن دراسة توزيعات الزلازل على خريطة العالم وانحصارها في نطاقات والذي يعرف باسم Benioff zones والتي تتركز وتتفق مع حيود وسط المحيطات Oceanic Ridge ومناطق الأغوار المحيطية Oceanic Trench والتي ساعدت في تأكيد فكرة توسيع قاع المحيط.



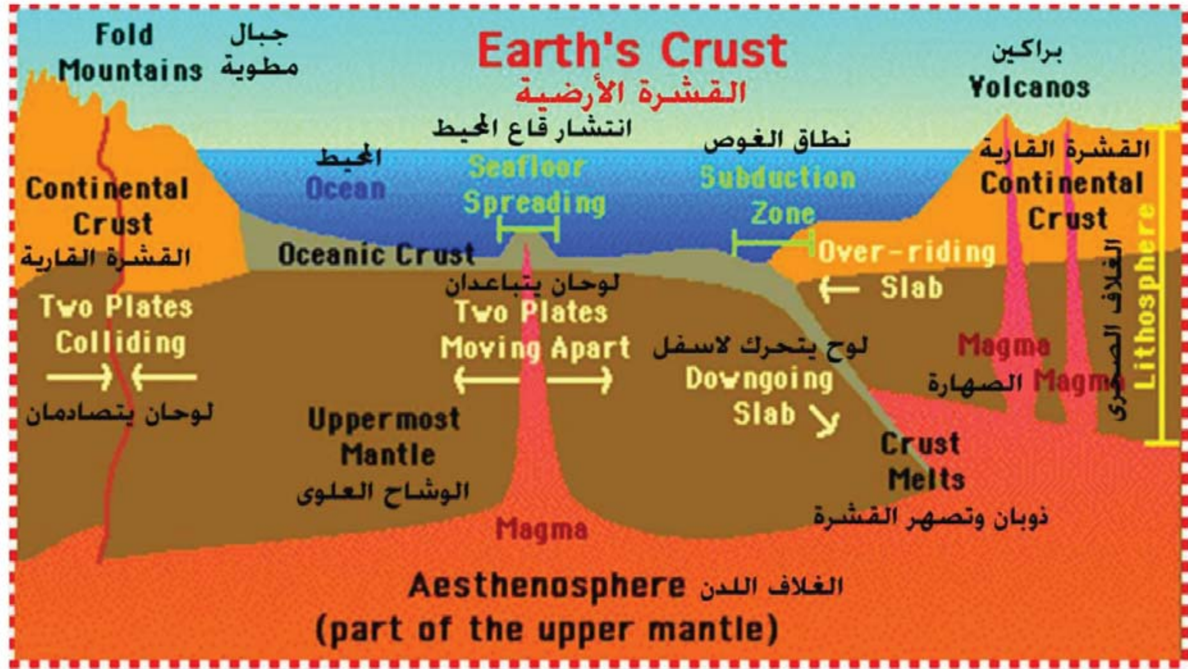


الشكل (5-8): التغيرات في المغناطيسية للأشرطة على جانبي وسط المحيط

5-5 نظرية الألواح التكتونية Plate Tectonic Theory

تعتبر نظرية الألواح التكتونية نموذجا لحركة الغلاف الصخري فوق نطاق الأسثينوسفيير اللدنــة. وطبقــا لهذه النظرية فإن الأرض تقســم إلى عدة قطع كبيرة وأخرى صــغيرة وهذه القطع تتحرك فوق نطاق الأسثينوســفيير. وتقدر ســرعة حركة هذه القطع ما بين 1-18 سم لكل عام.



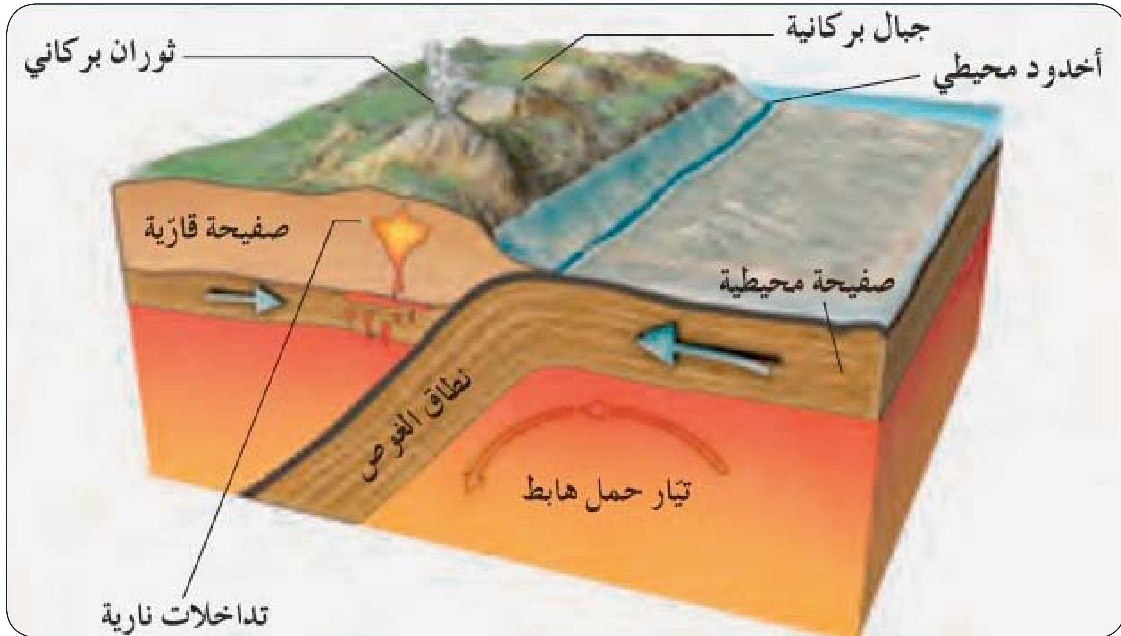


الشكل (5-9): يبين ظاهرة اتساع قاع المحيط

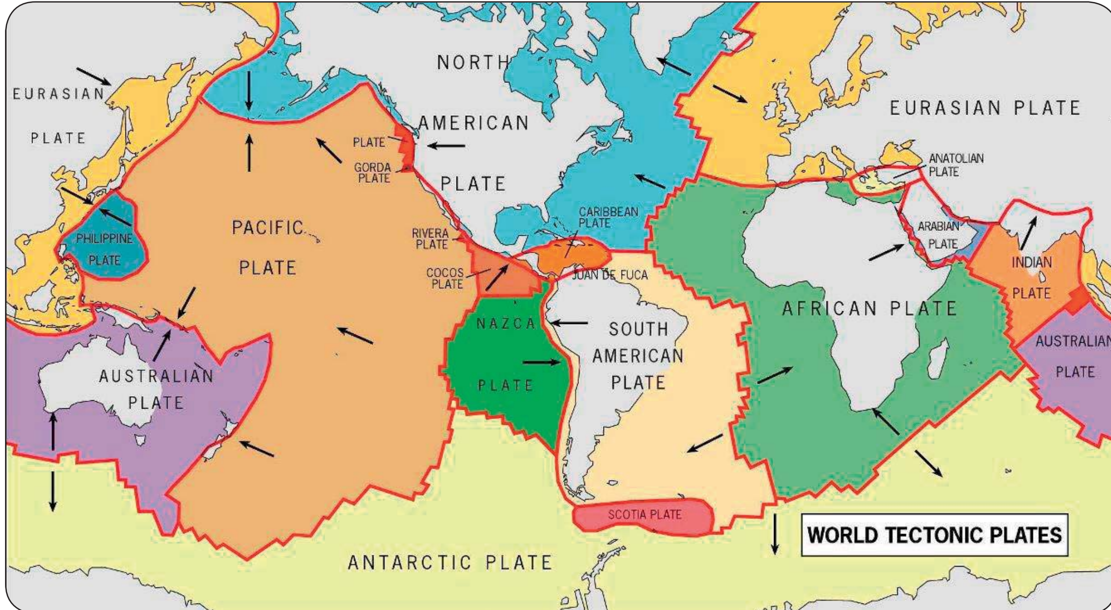
وتتميز أطراف هذه القطع بالنشاط التكتوني، وتتحرك هذه القطع في صورة ألواح إما مقتربة من بعضها Convergent Plate Boundaries كما هو موضح بالشكل (5 - 10)، أو تتحرك مبتعدة بعضها عن بعض Divergent Plate Boundaries أو قد تنزلق هذه الحواف حيث تنساب الألواح أفقيا وجانبيا Transform Plate Boundaries. يبين الشكل (5-11) خريطة للمناطق الضعف الزلزالية واتجاه حركة الألواح.

ويمكن تلخيص طبيعة اللوح البنائي أو التكتوني في أنه نشط تكتونيا عند أطرافه وأنه يمثل قطعة من الغلاف الصخري تشمل أعلى جزء من الوشاح بالإضافة إلى القشرة Crust والمعلوم أن اللوح المحيطي Oceanic plate يكون أقل سمكا من مثيله القاري Continental plate وكلاهما يتكونان من صخر صلب أو قريب من الصلب. وتلعب حركة الألواح التكتونية دورا هاما في فهم الجغرافية القديمة والحركات التكتونية وغيرها من الأحداث الجيولوجية عبر الزمن الجيولوجي.





الشكل (5-10): يبين التقاء لوح قاري بآخر محيطي



الشكل (5-11) : يبين حركة الألواح



كان لاكتشاف سريان وانبعاث درجات الحرارة العالية عند سلاسل جبال وسط المحيطات والتي تعرف باسم الجبال النشطة والزلازل والبراكين في مناطق معينة قرب حواف القارات وحول مناطق الضعف في المحيطات وهي المناطق المتشققة والمتصدعة وكذلك اكتشاف عملية تمدد قيعان المحيطات وتجدد قشرتها باستمرار والتي تعرف باسم ظاهرة انتشار قاع المحيط Sea floor spreading (الشكل 5-9) وذلك في مناطق سلاسل الجبال النشطة الأثر الأكبر في بزوغ نظرية الألواح التكتونية. وفي أثناء حركة الألواح هذه قد يتصادم بعضها مع الآخر وينتج عن ذلك التصادم طي وتجعد الصخور بشدة ورفعها إلى أعلى في صورة جبال عالية مطوية، وقد تكونت جبال الإنديز والهيمالايا وسلاسل جبال الشاطئ الغربي لأمريكا الشمالية عند تصادم لوح قاري مع آخر من قشرة المحيط. وقد تكونت جبال الهيمالايا نتيجة تحرك أحد الألواح عند القارة القطبية الجنوبية متجها ناحية الشمال وتصادم مع الجنوبية لآسيا لتتكون تلك الجبال. وبناء على هذه النظرية فإن كثير من الظواهر الجيولوجية المعقدة والتي حدثت في الأزمان السحيقة أولا تزال حتى اليوم قد أمكن تفسيرها ومنها:-

1 - حداثة أعمار قيعان المحيطات بالنسبة إلى عمر القارات.
2 - تكون وارتباط الأخاديد والجروف العميقة ودروع الجزر في المحيطات.
3 - ارتباط مناطق الشذوذ المغناطيسية السالبة وكذلك درجات الحرارة القليلة نسبيا بالجروف والأخاديد في المحيطات وعلى العكس من ذلك ارتباط مناطق الشذوذ المغناطيسي الموجبة ودرجات الحرارة العالية مع سلاسل الجزر في تلك المحيطات.
4 - اندلاع براكين البازلت والأنديزيت عند الجزر المحيطية.
5 - تولد الزلازل عند مناطق هبوط الألواح عند حواف القارات والفجوات والأخاديد أو بالقرب من الجزر.
6 - طي الصخور التي لا تهبط مع الألواح وتكوينها إلى جبال.
7 - بقاء وثبات القارات.
8 - النشاط الناري والتحول في أثناء عملية بناء الجبال والتي تنتج أساسا من تصادم لوحين معا.
9 - توزيع وانتشار الخامات والرواسب المعدنية وكذلك النفط والغازات الطبيعية في صخور القشرة الأرضية.



الفصل السادس

الــزلازل والبراكين

Earthquakes & Volcanoes

6-1 مقدمة

تُعد الظواهر الطبيعية مثل الزلازل والبراكين والرياح والأعاصـير والانزلاقات الأرضية والتصــحر وغيرها أحد مظاهر الحيــاة على كوكب الأرض كما أنها أحــد أهم أدوات البناء والهــدم التي تتطلبها مقومات التجديـد لحفظ التوازن على هذا الكوكب. وتُعد الزلازل أكثر الكوارث الطبيعية تأثيراً على الإنسان، لحدوثها المفاجئ والسريع ولما ينـجم عنها من خسائر بشرية ومادية.



ويمكن تقسيم الآثار الزلزالية إلى نوعين هما الآثار الأولية وتتمثل في حدوث الحركة الأرضية العنيفة وما يصاحبها من تصدعات وسقوط المباني وغيرها، والآثار الثانوية وتتمثل في الحرائق والانهيارات الأرضية والفيضانات والتغيرات في مستوى سطح الماء. ويختلف حجم الخسائر التي تُسببها الزلازل من بلد لآخر، ويقل بصفة عامة في الدول المتقدمة التي أخذت بصورة جدية بالوسائل التي تؤدي إلى تخفيف الخطر الزلزالي.

لقد اتجه المؤرخون منذ القدم إلى الاهتمام بالزلازل وتسجيل مواقعها وتواريخ حدوثها ووصف أحداثها وتقدير شدتها والأضرار الناجمة عنها، وتطور هذا الاهتمام حديثاً حتى أصبح علماً قائماً بذاته يسمى علم الزلازل Earthquake Seismology خاصة إذا علمنا أن الكرة الأرضية تتعرض سنوياً إلى حوالي 350 ألف زلزال لا يشعر بمعظمها الناس إما لضعفها أو لحدوثها في مناطق غير مأهولة بالسكان. سيتم القاء الضوء على ماهية الزلازل وأسبابها ووسائل توقعها.

2-6 الزلازل: أسبابها وأماكن تواجدها

الزلزال لغويا هي تحريك الشيء حركة شديدة. أما علميا فهو عبارة عن اهتزازات في القشرة الأرضية تحدث بمشيئة الله تعالى، ثم بسبب التحرر السريع للطاقة المجتمعة في الصخور، والناتجة عن الحركة التصدعية لكتل الصخور المكونة للقشرة الأرضية أو الانفجار البركاني أو انبثاق المواد المنصهرة من باطن الأرض أو الانهيارات في مناطق المغارات والمناجم وضخ المياه أو التفجيرات النووية وإنشاء السدود والبحيرات الصناعية.

ومن أهم الآثار التخريبية للزلازل:

- حدوث إزاحات أرضية عمودية أو أفقية أو كليهما معا.
- حدوث انهيار أو انزلاق أرضي.
- تداعي المنشآت العمرانية.
- انقطاع المياه واندلاع الحرائق.
- طغيان مياه البحر بفعل أمواج البحر الزلزالية (التسونامي) Tsunami.

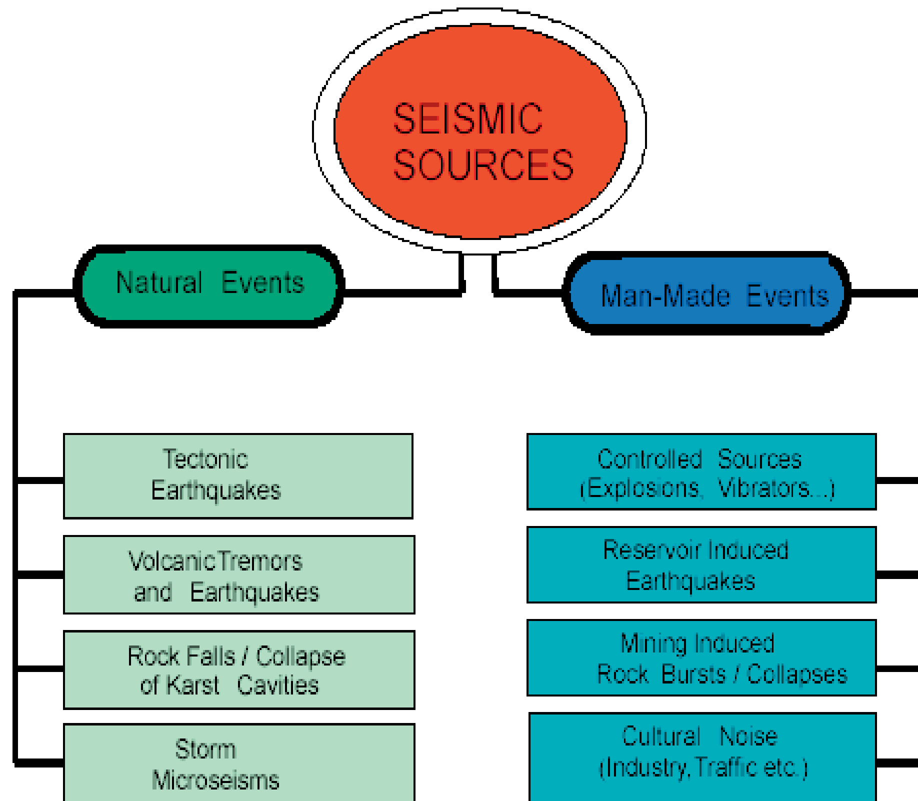


6-2-1 أنواع الزلازل:

أولا : تصنف الزلازل حسب مصادر الطاقة إلى:

زلازل طبيعية المصدر الشكل (6-1) ومنها:

- الزلازل التكتونية
- الزلازل البركانية
- زلازل الانهيارات والفجوات الأرضية
- العواصف الزلزالية
- الزلازل الدقيقة Microseisms



الشكل (6-1): المصادر الزلزالية الطبيعية والصناعية



زلازل صناعية المصدر ومنها :

- التفجيرات النووية والكيميائية
- السدود و الخزانات المائية وحقن السوائل
- المناجم
- الضوضاء البشرية وحركة المركبات

ثانيا : تقسم الزلازل استناداً على العمق البؤري إلى :

- زلازل ضحلة العمق يصل عمقها إلى 70 كم من سطح الأرض.
- زلازل متوسطة العمق يتراوح عمقها ما بين 70 – 300 كم.
- زلازل عميقة يتراوح عمقها ما بين 300 – 670 كم.

ثالثا : تصنف الزلازل حسب القوة المدمرة إلى:

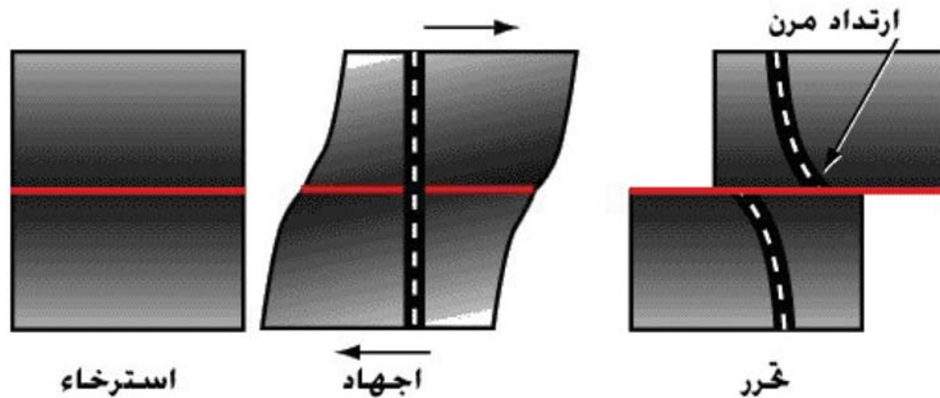
- زلازل ضعيفة لا تسبب دمار للمنشآت وخسائر في الأرواح وتصل شدتها إلى 5 درجات حسب مقياس ميركالي المعدل.
- زلازل قوية تسبب دمار للمنشئات وخسائر في الأرواح وتتراوح شدتها بين 6 - 9 درجات.
- زلازل مدمرة مسببة دمار شامل للمنشآت وخسائر عالية في الأرواح وتتراوح شدتها بين 9 - 12 درجة.

إن أول وصف علمي لأسباب حدوث الزلازل كان على يد العلماء المسلمين في القرن الرابع الهجري حيث وصف ابن سينا في كتابه عيون الحكمة الزلازل وأسباب حدوثها وأنواعها ما قوله: "حركة تعرض لجزء من أجزاء الأرض بسبب ما تحته، والجسم الذي يمكن أن يتحرك تحت الأرض إما جسم بخاري دخاني قوي الاندفاع كالريح، وإما جسم مائي سيال، وإما جسم هوائي، وإما جسم ناري، وإما جسم أرضي. ولقد أورد ابن سينا تصورا لأماكن حدوث الزلازل فذكر: "وأكثر ما تكون الزلزلة في بلاد متخلخلة غور الأرض متكاثفة وجهها، أو مغمورة الوجه بماء". وهو ما يتفق مع ما توصل إليه العلماء الآن أن مناطق حدوث الزلازل



تكون في مناطق الضعف في القشرة الأرضية حيث يتم حركة الصخور على سطحها، وتسمح بخروج الغازات. ويصـف ابن سـينا أنواع الزلازل فيقول: "منها ما يكون على الاستقامة إلى فـوق، ومنها ما يكون مـع ميل إلى جهة، ولم تكن جهات الزلزلـة متفقة، بل كان من الزلازل رجفية، ما يتخيل معها أن الأرض تقذف إلى فوق، ومنها ما تكون عرضية.

أما السـيوطي فقد تحدث في كتابه كشـف الصلصلة عن وصـف الزلزلة عن شدتها من خلال وصـف آثارها المدمرة مثل أوزان الصخور المتسـاقطة، ومقاييس الشقوق الناتجة عن الـزلازل، وعدد المدن والقرى والمسـاكن المتهدمة، وعدد الصـوامع والمـآذن المتهدمة، وعدد القتلى. كما وصـف السـيوطي درجات الزلازل بتعبيرات أشـبه ما تكـون بالمقاييس الحديثة مثل لطيفة جدا، وعظيمة وهائلة. أما حديثا فقد أشـار العالم ريد Reid عام 1906م إلى أن نظرية الارتـداد المرن Elastic Rebound تعطي تفسـيراً معقولاً لأسـباب حدوث الزلازل، وتفترض هذه النظرية أن صـخور القشرة الأرضية تتعرض إلى ضغوط وتشوهات على مدار السنين مما يجعل مسارها الطبيعي يتغير وينتج عن ذلك قوى هائلة تتزايد مع الزمن، فإذا زادت هذه القوى عن قدرة تحمل الصـخور حدث بها كسـر أو شـرخ أو بمعنى آخر إذا زادت القـوى الناتجـة عن قوى الاحتكاك بين الصـخور تحدث الإزاحة على جانبي الفالق مسـببة انطلاق الطاقة المحبوسة إما على هيئة حرارة أو موجات ارتدادية، وهذه الموجات الارتدادية التي يحاول بها الصخر الرجوع إلى وضعه الطبيعي هي التي تسبب الزلازل (الشكل 6-2).



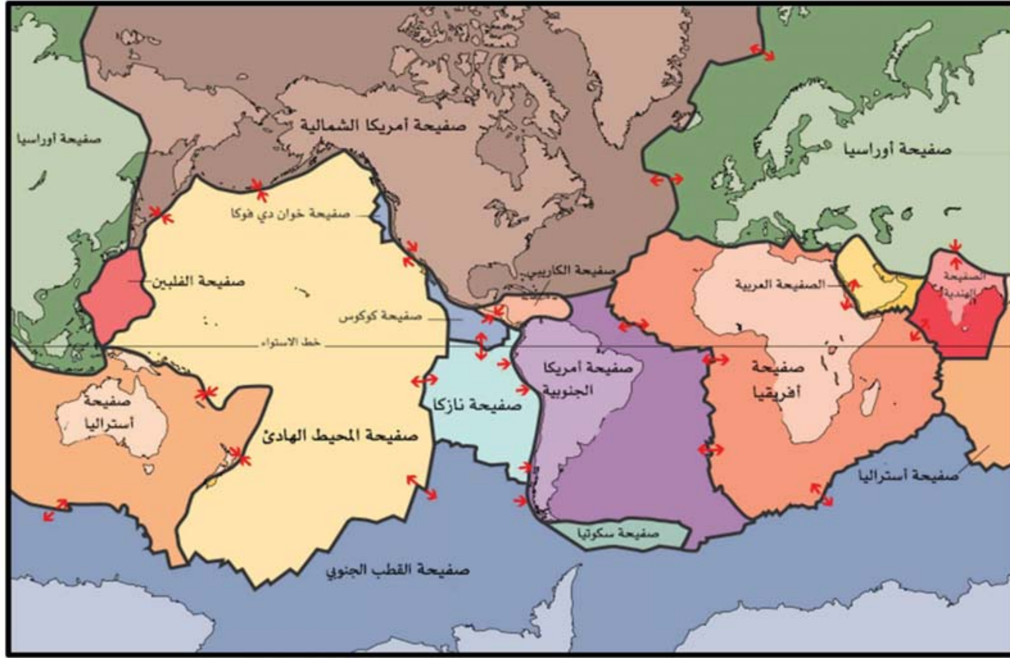
الشكل (6-2): مبدأ نظرية الارتـداد المرن



وفي عام 1962م ظهرت نظريـــة الألــواح التكتونية Plate Tectonics للعالم ألفــريد وجـــنر A.Wegener (1880 -1930) التـي افترضـها عـام 1912 وتقـترح أن الغـلاف الصـــخري الصلب للأرض Lithosphere يتألف من عدة صفائح Plates صخرية يتراوح سـمكها بين 70 كم و 100 كم، وتتكون الصـفائح من القشـرة الأرضـية وجزء صـغير من الطبقة السـائلة من الوشـاح، وتتحرك الصفائح التكتونية بالنسـبة إلى بعضها البعض فوق المنطقـة المنصـهرة جزئياً من الوشـاح العلـوي والمعروفـة ب Asthenosphere، وتحدث الحركات التكتونية على طول الحدود الفاصـلة بين الصفائح التكتونية عند تحركها متقاربة أو متباعدة عن بعضها أو تنزلق إحداها بموازاة الأخرى مسببة اضطرابات في داخل الأرض تنعكس على القشـرة الأرضـية في صـورة كسـور واندفاعات بركانية وزلازل وحركات صعود وهبوط. قال تعالى " والأرض ذات الصدع (سورة الطارق– آية 12).

يوجد في العالم ست صفائح رئيسية وأخرى صغيرة ثانوية تشكل في مجملها قشرة الأرض التي نعيش عليها. قال تعالى " وفي الأرض قطع متجاورات " سورة الرعد الآية 4. والصفائح الصـلبة الكبيرة تشـمل : صـفيحة أوراسـيا القارية ، وصـفيحة المحيط الهادي المحيطية ، والصـفائح القارية المحيطية المشـتملة على صـفيحة أفريقيا، وصـفيحة أمريكا، وصـفيحة المتجمد الجنوبي، والصـفيحة الهندية – الأسترالية. أما الصفائح الصلبة الصغيرة فمنها: الصفيحة العربية وصفيحة نازكا – صفيحة بحر الفلبين وصفيحة الكاريبي وصفيحة جنوب شرق آسيا (الشكل 6-3).





الشكل (3-6): حدود الصفائح التكتونية الكبيرة والصغيرة

لم يتفق العلماء حتى يومنا هذا على قوة معينة لتحريك الصفائح ولكن أهم الآليات المقترحة لتحريك الصفائح :

أولا: آلية السحب الناتج عن تيارات الحمل الموجودة في الغلاف الواهن Asthenosphere.

ثانيا: آلية الجذب بسبب وجود طبقة الغلاف الصخري Lithosphere الباردة والعالية الكثافة فوق الوشاح الساخن واللدن والغلاف الواهن يؤدي إلى جذب الصفيحة نحو مناطق الاندساس.

ثالثا: آلية الانزلاق. بسبب تأثير قوى الجاذبية.

رابعا: آلية صعود الصهير.

خامسا: آلية البقع الساخنة.



ومن الملاحظ هنا ارتباط الزلازل بخروج الحمم والصهارة من باطن الأرض وتكون البراكين وهو الارتباط الذي نبأنا الله بحدوثه أيضاً في سورة الزلزلة في قوله " إذا زلزلت الأرض زلزالها وأخرجت الأرض أثقالها ". وبناءاً على نظرية الألواح التكتونية، يمكن تقسيم حدود الصفائح طبقاً لحركة الصدوع واتجاهاتها، إلى ثلاثة أقسام رئيسة كما يلي:

1- مناطق تباعد الصفائح Divergence Zones

تنشأ مناطق تباعد الصفائح عن عملية شد ناتج بسبب تحرك صفيحتين في اتجاه معاكس عن بعضهما البعض مثل ابتعاد الصفيحة العربية عن الصفيحة الأفريقية وما نتج عن ذلك من نشأة أخدود البحر الأحمر وكذلك سلاسل جبال وسط المحيط الأطلسي الشكل (6-4)، وتتميز هذه المناطق بوجود الصدوع العادية أو الرأسية Normal Faults (الشكل 6-5)، كما أن الزلازل التي تحدث بها ضحلة ولا يزيد عمقها عن 30 كم.

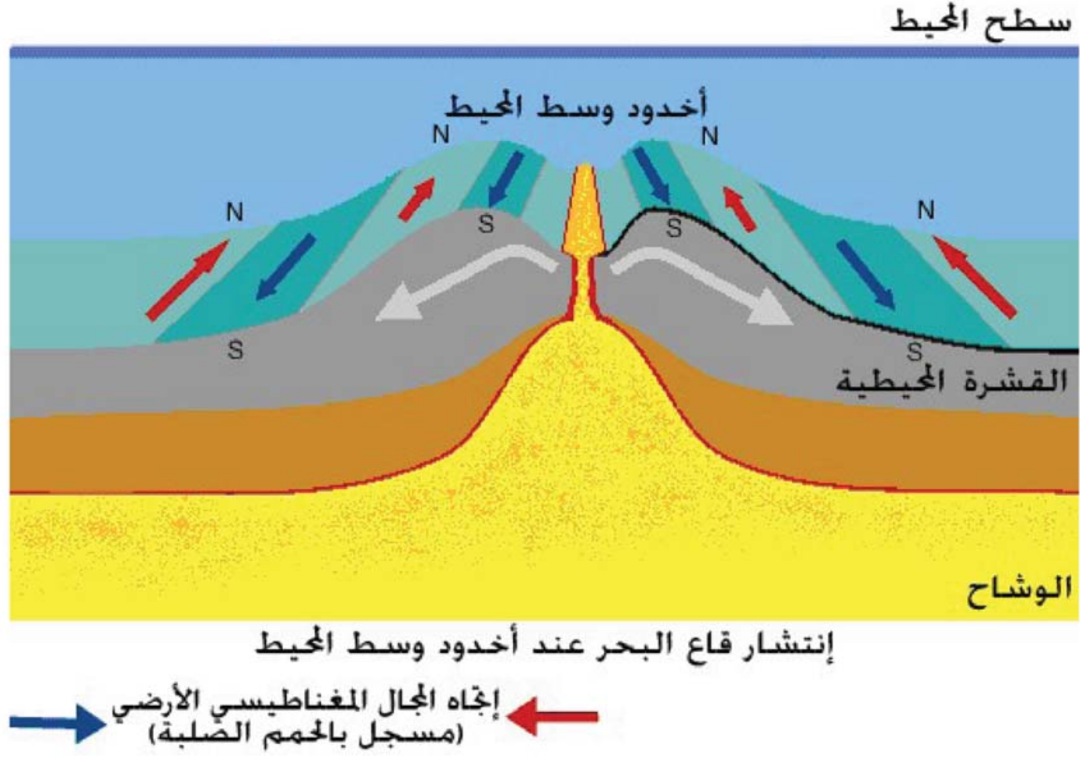
2- مناطق التقاء الصفائح Convergence Zones

تنشأ مناطق التقاء الصفائح عند تحرك صفيحتين باتجاه بعضهما البعض ليلتقيا معاً وتتصادما، ويحدث التصادم إما بين صفيحتين قاريتين أو بين صفيحتين إحداهما قارية والأخرى محيطية، وتتميز هذه المناطق بوجود الصدوع العكسية Reverse Faults ويمكن توضيح نوعي الاصطدام كما يلي:

- **قاري - قاري :** حيث تختلف كثافة الصخور نسبياً بين الصفيحتين، ويؤدي اصطدامهما معاً إلى تكوين منطقة من السلاسل الجبلية الضخمة والمرتفعة مثل جبال الهيمالايا في الهند (الشكل 6-6)، وزاكروس في إيران، وتحدث الزلازل في هذه المنطقة على أعماق متوسطة تتراوح بين 60 كم و 300 كم.
- **قاري - محيطي :** حيث تختلف كثافة الصخور بين الصفيحتين، حين تضغط إحداهما على الأخرى وتنحني الصفيحة المحيطية الأكثر كثافة أسفل الصفيحة القارية الأقل كثافة. ويقطع طرف الصفيحة القارية أجزاء كبيرة من الصفيحة المحيطية عند نزولها إلى طبقة الوشاح مكونة سلاسل جبلية مرتفعة مثل جبال الأنديز في أمريكا



الجنوبيــة والجزر الألوســية الممتدة حول منطقة ألاســكا. وتتميز زلازل هذه المنطقة بأنها من النوع العميق حيث يتراوح عمقها بين 300 كم و 650 كم.

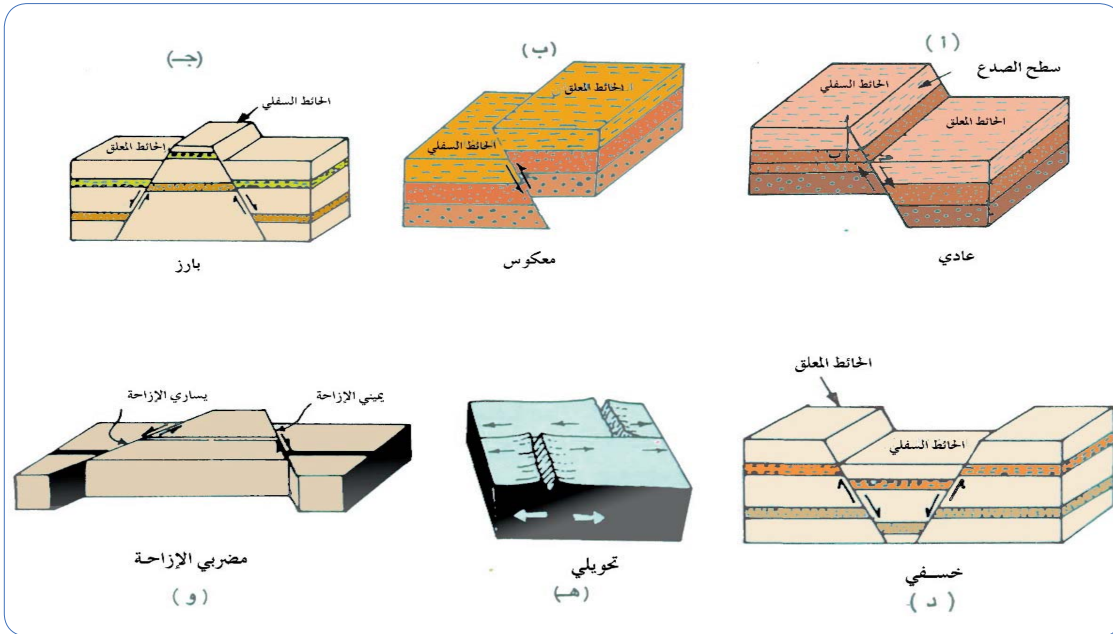


الشكل (6- 4): تجدد قاع البحر في مرتفعات وسط المحيط الناجمة عن تباعد الصفائح

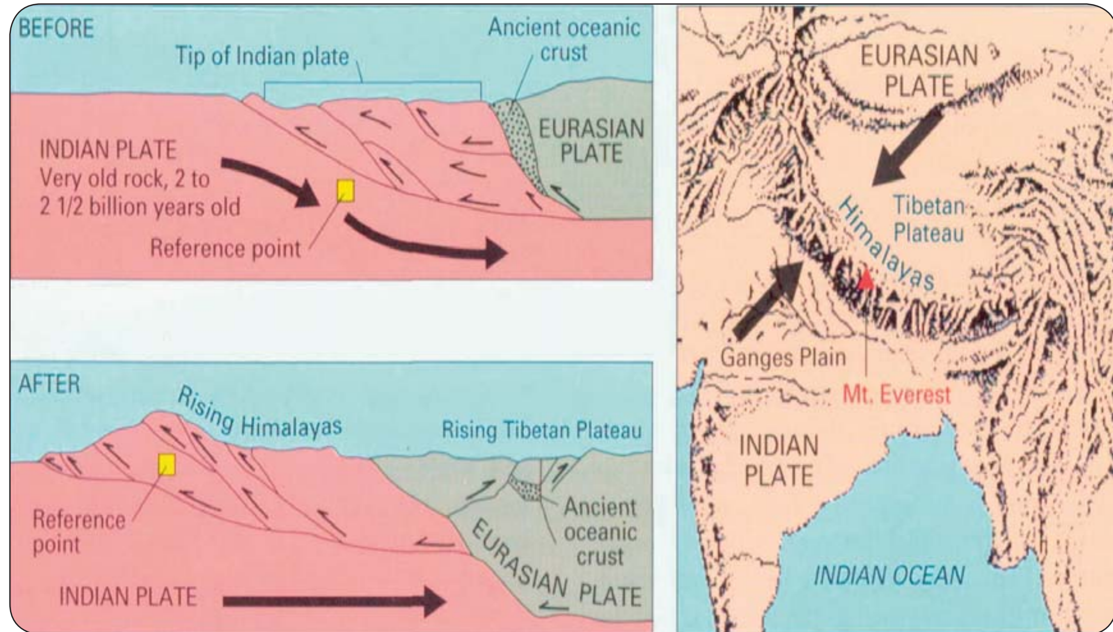
3- مناطق انزلاق أو زحف الصفائح Transform Zones

تنشأ مناطق انزلاق أو زحف الصفائح على شكل صدوع مستعرضة Transform Faults تـؤدي إلى انــزلاق أو زحف صــفيحتين إحداهما بمــوازاة الأخرى، وتتحرك الصــفيحتان متماســتين على جانبي الصدع محدثةً تكسيراً أو تشوهاً في الصخور قد ينتج عنه اندفاعات بركانيــة وزلازل. وتحــدث الــزلازل في هــذه المنطقة على أعماق ضــحلة قد تصــل إلى 20 كـم تقريباً، ومن أمثلة هذه المناطق خليج العقبة، وصــدع ســانت أندرياس بولاية كاليفورنيا الأمريكية (الشكل 6-7).





الشكل (6-5): أنواع الصدوع : الطبيعية والعكسية والانزلاقية

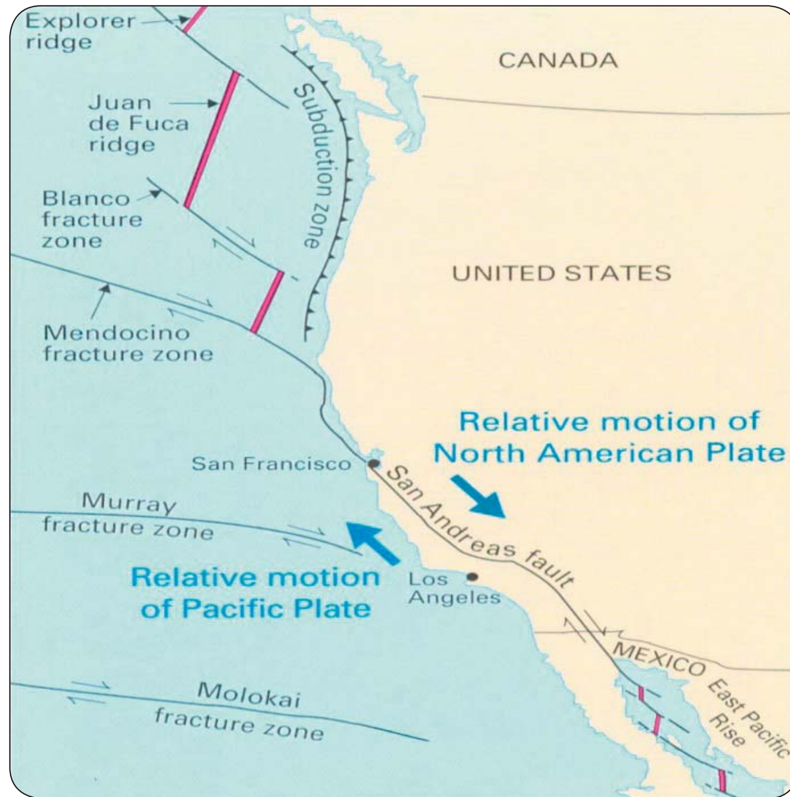


الشكل (6-6): تصادم الصفيحتين القاريتين الهندية واليوراسية ونجم عن ذلك تكون جبال الهيملايا



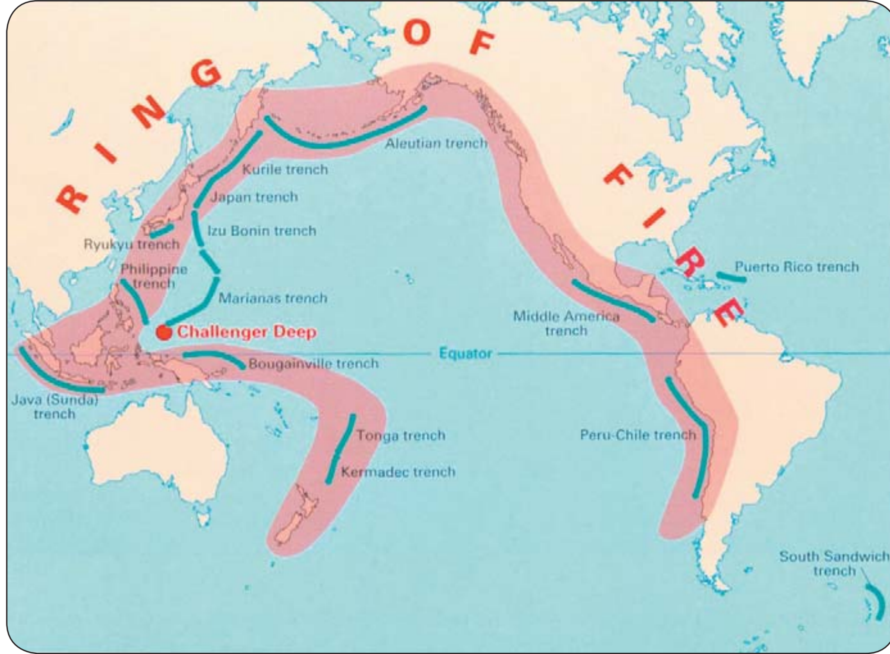
6-2-2 الأحزمــة الزلزاليــة

بمقارنــة خرائــط توزيع الــزلازل وحدود الصــفائح التكتونية في العالم، نجــد أن هناك ارتباطــاً وثيقــاً بين حدود الصــفائح ومناطق النشــاط الزلزالي، وعلى هذا الأســاس أمكن تحديــد ما يســمى بالأحزمــة الزلزاليــة وأهمها حزام حلقــة النار (حول المحيــط الهادي) Circum-Pacific Belt ويتشــكل فيه حوالي 69% من زلازل العالم (الشــكل 6-8)، ويذكر أن 80% مــن طاقة الزلازل تتواجد في هذا الحزام، ويشــمل هذا الحزام الشــواطئ الغربية من أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية واليابان والفلبين حتى يصل إلى أستراليا ونيوزيلندا، وتمثــل أعتــى أنواع الزلازل، وعلى ســبيل المثال الــزلازل التي حدثت في بيرو 1970 وتشــيلي 1985 واليابان 1923 وألاسكا 1964، وزلزال اليابان 1995م.



الشكل (6-7): نشوء صدع سانت اندرياس من انزلاق صفيحة أمريكا الشمالية جنوبا بالنسبة لصفيحة المحيط الهادي شمالا





الشكل (6-8): حزام حلقة النار ويتشكل فيه حوالي 69% من زلازل العالم.

وهناك حزام آخر لا يقل أهمية ويمتد من الصين شرقاً ماراً بجبال الهيملايا ثم ينحرف إلى الشمال الغربي ماراً بجبال زاجروس ثم القوقاز إلى تركيا وشمال إيطاليا، ويعرف هذا الحزام بحزام جبال الألب Alpide Belt ويتشكل فيه حوالي 21% من زلازل العالم، ويمثل هذا الحزام 10% من الطاقة.

وبالإضافة إلى هذين الحزامين هناك أحزمة زلزالية أقل خطورة تمتد في خطوط شبه مستقيمة في وسط المحيط الأطلسي والهندي وتتجه شمالاً حتى تصل إلى خليج عدن وأواسط البحر الأحمر. وقد تتواجد الزلازل أحياناً في مناطق ليس لها علاقة بالأحزمة الزلزالية، حيث تتمركز في داخل الصفيحة ويطلق على هذا النوع من الزلازل Intraplate Earthquakes وهذا النوع قد يكون مدمراً بسبب عدم توقعه كما حدث في زلزال القاهرة في أكتوبر 1992م.



6-2-3 الموجـات الزلزاليـة

يتولـد عن حـدوث الزلازل في نقطة مـا في الأرض نوعان من الموجـات الزلزالية المرنة، تنتشــر في جميع الاتجاهــات مبتعدة عن موقعه، وتســمى النقطة التي تنطلـق منها الحركة داخل الأرض بؤرة الزلزال Hypocenter بينما تسـمى النقطة على سـطح الأرض الواقعة مباشــرة فوق بؤرة الزلزال مركز الزلزال الســطحي Epicenter وتعرف المسافة العمودية بين مركز الزلزال وبؤرته بعمق الهزة Focal Depth (الشكل 6-9) ، ويمكن تقسيم الموجات الزلزالية إلى:

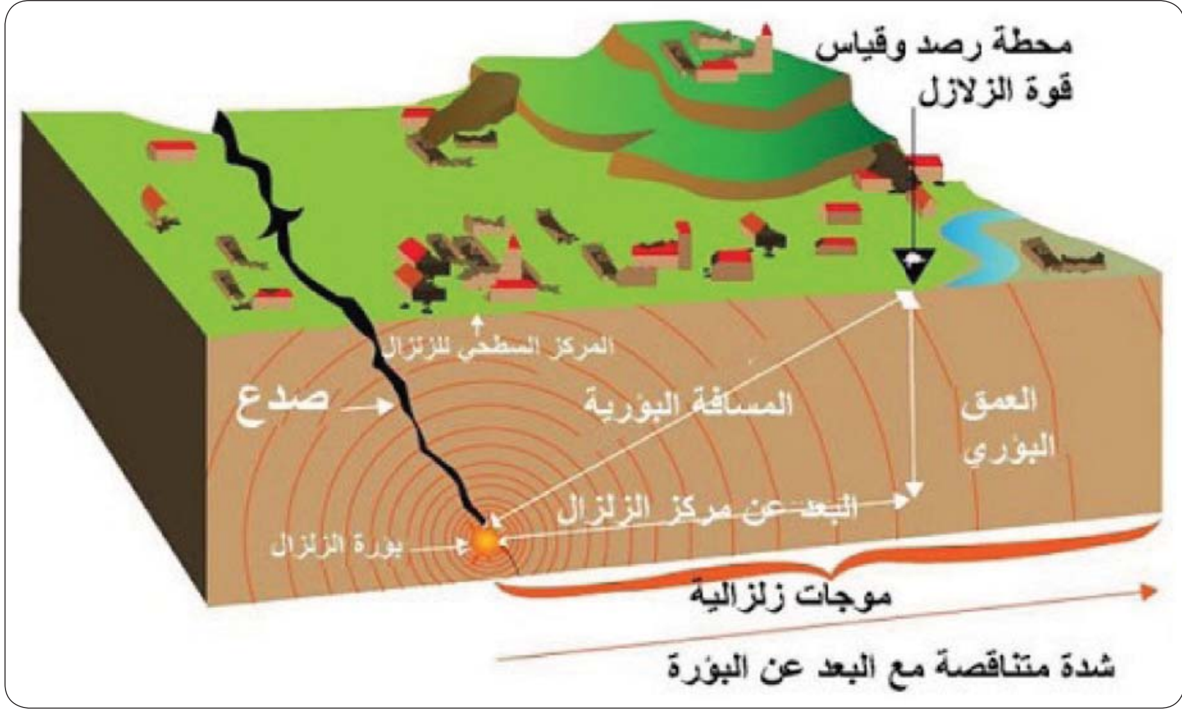
1 - الموجات الداخلية Body Waves

تُعرف الموجات الزلزالية الداخلية أو الجســمية بأنها الموجات التي تنفذ من خلال جسم الأرض لتظهر في مناطق أخرى على سطحها، وتنقسم الموجات الداخلية إلى نوعين (الشكل 6-10) هما:

- **الموجات الأولية** P Primary Waves -

وتســمى أيضــا بالموجـات الطولية أو الموجـات التضـاغطيـة Compressional Waves تنتشــر هــذه الموجات خــلال الأجســام الصــلبة والســائلة والغازية في صـورة تضــاغطات وتخلخــلات متوالية، وتتميز بأنها ذات ذبذبات قصــيرة، وتســير بســرعة عالية، ولذا فإنها تصــل إلى أجهزة رصــد الزلازل قبل غيرها من الموجات الأخرى، كما أنها عند وصولها إلى ســطح الأرضــ- قادمة من العمــق- يتحول جزء منهــا إلى موجات صــوتية في الهواء يمكن للإنسان سماعها عند ذبذبات معينة (تزيد عن 15 ذبذبة في الثانية).





الشكل (6-9): يوضح بؤرة الزلزال ومركزه السطحي ومستوى الصدع

- **الموجات الثانوية** Secondary Waves S

وتسمى أيضاً بموجات القص أو القصيرة أو الإزاحة Shear Waves، وتنتقل في الأجسام الصلبة فقط عن طريق الاهتزاز من جانب إلى آخر كأنها تقوم بقص الصخر أو إزاحته في اتجاه عمودي على اتجاه حركتها وهي ذات سرعات منخفضة، وتصل إلى أجهزة الرصد بعد الموجات الأولية ولذا تسمى بالموجات الثانوية. وتستخدم الموجات الداخلية (الأولية والثانوية) في إعطاء صورة واضحة عن التركيب الداخلي للأرض، وتحديد مركز الزلزال وبؤرته. وتتوقف سرعة الموجات الأولية والثانوية على كثافة وخواص الصخور، وعند حدوث الزلزال يلاحظ في البداية تأثير الموجة الأولية وينتج عنها اهتزاز الأشياء غير الثابتة مثل الأثاث والأبواب والنوافذ يلي ذلك الموجة الثانوية التي تهز الأرض في الاتجاهين الأفقي والرأسي، ينتج عنها أضرار في المباني والمنشآت.



2- الموجات السطحية Surface Waves

تُعد الموجات السطحية Surface Waves - L الأكثر تدميراً، وهي تنتقل بالقرب من سطح الأرض دون أن تمر إلى جوفها، وهي أبطأ أنواع الموجات الزلزالية وآخر ما يتم التقاطه على أجهزة الرصد. وتُقسم الموجات السطحية إلى نوعين هما:

- **موجة لوف:**

وتم تسميتها نسبة إلى العالم البريطاني أوغسطس لوف Love الذي اكتشفها عام 1885م، وينتج عنها ذبذبات تشبه ذبذبات الموجة الثانوية ولكن في الاتجاه الأفقي فقط، وهي تؤثر بصفة خاصة على أساسات المنشآت.

- **موجة رالي:**

وتمت تسميتها نسبة إلى العالم البريطاني رالي Rayleigh الذي اكتشفها عام1911م، وهي تشبه أمواج البحر الدائرية، وفي تحريكها للماء، وتعمل هذه الموجة على تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والرأسي في اتجاه عمودي على اتجاه الموجة. وتتجلى أهمية الموجات السطحية في قدرتها المدمرة، بينما تكمن أهمية الأمواج الطولية والقصيرة في قدرتها على إجلاء الصورة الواضحة عن داخلية الأرض، وكذلك في تحديد بؤرة الزلازل حيث يتباين زمن وصول الموجتين، فالفرق بينهما يجعل من السهل تحديد الفرق الزمني بين الموجتين القادمتين من مصدر وآخر للدلالة على بعد الزلازل. وهذا هو بعينه ما يحدث في حالة البرق والرعد، فنحن نبصر البرق أولاً ثم نسمع الرعد بعد ذلك، وهذا يرجع إلى أن الضوء ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الصوت، ونستطيع أن نحدد بُعد العاصفة بمعرفة الفرق بين زمن وصول كل من البرق والرعد إلينا، فإذا كانت تفصلهما فترة زمنية وجيزة كانت العاصفة قريبة، أما إذا استغرق وصول الرعد فترة طويلة فإن العاصفة تكون بعيدة.



يتم التقاط الموجات الزلزالية الثلاثة بواسطة أجهزة رصد تسمى الراصدات Seismometers وتوضع في أماكن نائية بعيدة عن المنشآت العمرانية نظراً لحساسيتها ودقتها العاليتين في التقاط الهزات الأرضية. وتوضع الراصدات في ثلاث اتجاهات عمودية وأفقية شمال – جنوب أو شرق – غرب. ويتم تسجيل الموجات الزلزالية إما باستخدام الطرق البيانية بواسطة قلم تسجيل تتحرك أمامه وملامسة له أسطوانة مثبت عليها ورق خاص لهذا الغرض تسجل عليه الموجات الزلزالية على شكل خطوط متعرجة وتسمى السجلات الزلزالية الورقية Seismograms (الشكل 6-11)، أما الطرق الرقمية الحديثة فتستخدم أشرطة مغناطيسية أو أجهزة حاسبة متطورة لتخزين المعلومات الزلزالية وتتميز بأنها خالية من الضوضاء الزلزالية وسهولة تبادلها مع الأوساط العلمية الأخرى.

وحديثاً أمكن تمييز عدة أنواع من التحليل الطيفي للموجات الزلزالية. ونظراً للطيف العريض الذي تقع فيه الأطوار الموجية في مجال الدورة الزمنية (Period) في المجال المحصور بين (0.1 ثانية – 1 ساعة) وكذلك في المجال الترددي (Frequency) في المجال المحصور بين (0.05 - 50 هرتز) ولاستيعاب هذه الأطياف الموجية فإن المراصد الزلزالية تحتوي في الأساس على الأجهزة الأساسية الآتية:

- أجهزة الترددات القصيرة – ثلاثة مركبات (E-W, N-S, Z) (Short Period Seismographs) وهي مخصصة للزلازل المحلية القريبة ولدورة زمنية محصورة بين (0.1 - 2 ثانية).
- أجهزة الترددات المتوسطة – ثلاثة مركبات (E-W, N-S, Z) (Intermediate Period Seismographs)، وهي مخصصة للزلازل القريبة والبعيدة نسبياً وفي سعة محصورة بين (2 - 15 ثانية).
- أجهزة الترددات الطويلة – ثلاثة مركبات (E-W, N-S, Z) (Long Period Seismographs)، وهي مخصصة للزلازل البعيدة (Teleseismic) ولدورة زمنية محصورة بين (15 ثانية – 1 دقيقة).



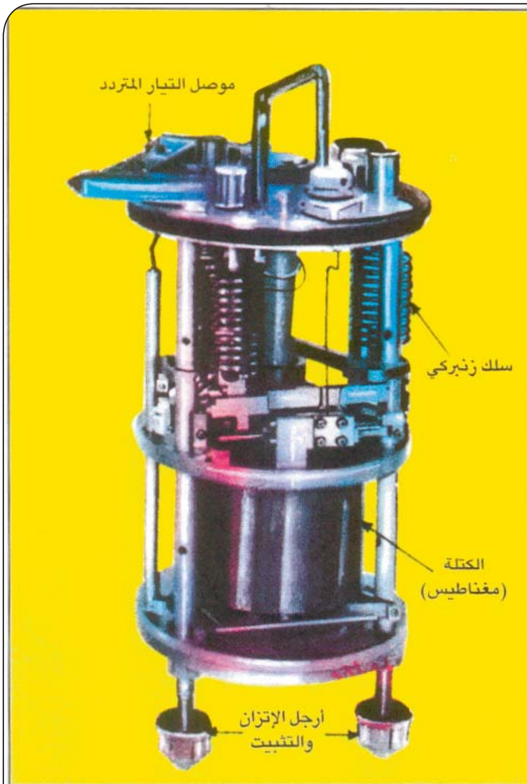
- أجهـزة الـتردد الواسـع (Broad Band Seismographs) وهـي مفتوحـة لكافة الدورات الزمنية ولأكبر من دقيقة واحدة وبمدى ترددي (0.05 - 50 هرتز).
- أجهزة التسـجيل العنيف (Strong Motion Seismographs) وهي مخصصـة للتشـغيل عنـد وقـوع الزلازل الكبـيرة المقدار لتسـجيل مركبـات التعجيل الأرضـي لاستخدامها في الدراسات الزلزالية الهندسية.

عنـد حـدوث الـزلازل أو مـا يسـمى بالهـزة الرئيسـية Main shock ينطلـق معهـا معظـم الطاقة الزلزالية الكامنة في الصـخور ويبقى جزء آخر ينطلـق مع الهزات اللاحقة والتوابع Aftershocks والتي في الغالب يكون تأثيرها أقل شـدة من الهزة الرئيسـية. ولقد وصـف القـرآن الكـريم هذا النـوع من التوابـع في قولـه تعـالى ﴿يَوۡمَ تَرۡجُفُ ٱلرَّاجِفَةُ ۝٦ تَتۡبَعُهَا ٱلرَّادِفَةُ ۝٧﴾. فالراجفـة هـي الزلزلـة العظمـى ﴿إِنَّ زَلۡزَلَةَ ٱلسَّاعَةِ شَيۡءٌ عَظِيمٞ ۝١﴾ والرادفة هي التابع الأقل قوة.

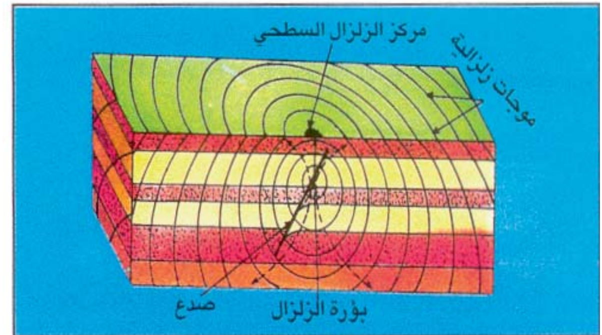


الشكل (10-6): أنواع الموجات الزلزالية واتجاه حركتها

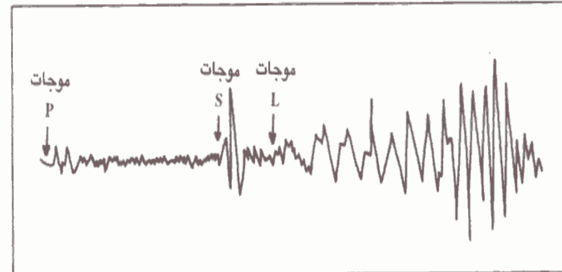




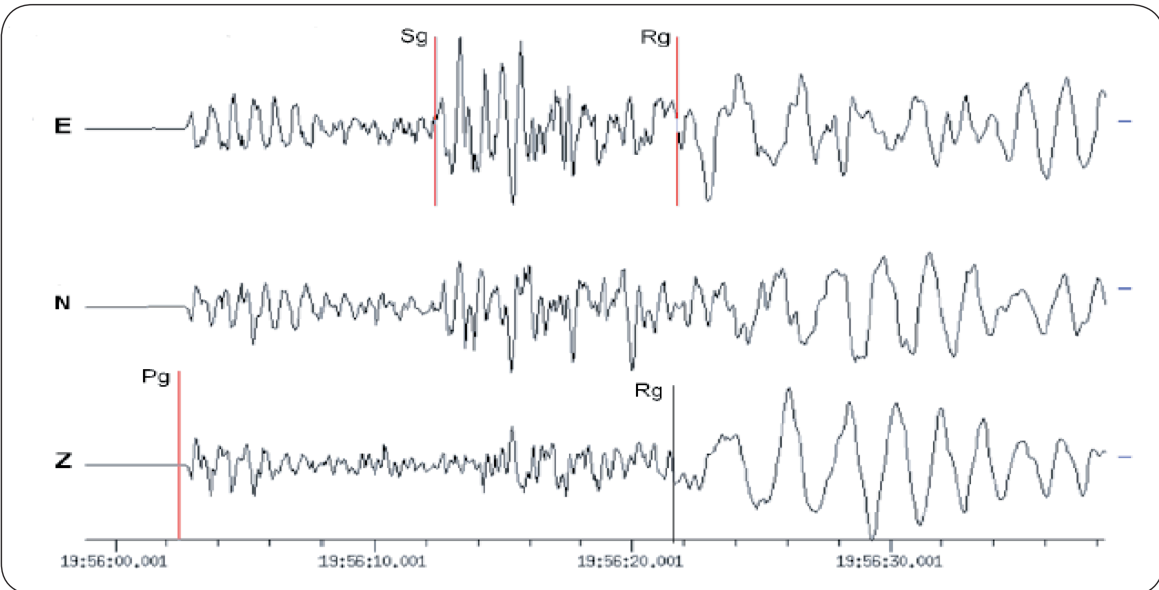
مكونات راصد الزلازل .



كيفية حدوث الزلازل وانتشار الموجات .



السجل الزلزالي الورقي (السيزموجرام).



الشكل (6-11): سجل رقمي لزلزال ضحل يوضح أنواع أخرى من الموجات على الاتجاهين العمودي والأفقي



4-2-6 مقاييس الــزلازل

1- الشدة الزلزالية Earthquake Intensity:

لقد قامت عدة محاولات لقياس شــدة الــزلازل اعتماداً على حجــم التأثيرات ونوعيتها ومقــدار الدمار، ومن تلك المحاولات ما قام به عــالم البراكين الإيطالي ميركالي Mercalli عام 1887م من وضــعه مقياساً وصــفياً من ثمان درجات تكون الشدة مختلفة حسب القرب والبعــد عن البؤرة، فالمناطق الواقعــة فوق بؤرة الزلازل تكون الشــدة فيها أعلى من المناطق البعيــدة عن البــؤرة، لقد قام ميركالي برســم خطــوط كنتورية تمثل الشــدة الزلزالية لكل منطقة وتربط المناطق التي حصــل لها نفس التشــويه، وطور هــذا المقياس إلى 12 درجة في عام 1931م، وتدل الشدة الزلزالية على التأثير المحلي أو مدى إصابة الناس بالزلازل، وكل هذه التأثيرات تختلف باختلاف المسافة.

إن للشــدة الزلزالية أهمية كبيرة حيث يمكن أن تستخدم في رسم خرائط تساوي الشدة Isoseismal Maps وتزودنا مثل هذه الخرائط بمعلومات عن أقصــى شــدة للهزة المحتملة وعــن طبيعة الاهتزازات الأرضــية وتأثير الطبقات الصــخرية للجيولوجيــة التحتية والتربة الســطحية على شدة الهزة. استخدمت الشــدة الزلزالية أيضاً في دراسة المخاطر الزلزالية حيث تســتخدم الشــدة العظمى عند المركز الســطحي أو تستخدم الشــدة في أية نقطة لبناء خرائط تقســيم زلزالي Seismic Zoning يمكن أن نتوقع منها أقصــي شدة للهزة المحتملة الوقوع.

2- القــدر الزلزالــي Earthquake Magnitude:

لكي نتمكن من المقارنة بين الزلازل في كافة أنحاء العالم لابد من إيجاد مقياس لا يعتمد علــى كثافة الســكان أو نوع المنشــآت، ولكن مقياس كمــي ينطبق على الــزلازل في أي مكان. وكان أول مقياســ للقــدر الزلزالي على المســتوى العالمي هو الذي اســتخدمه العالم الياباني واداتي Wadati في عام 1931م، ثم قام العالم ريختر Richter بتطويره في ولاية كاليفورنيا عام 1936م اعتماداً على قياس اتســاع موجة الزلزال طبقاً لقياســها بآلة التسجيل المعروفة



بالسـيزموجراف. ونظـراً للاختلاف الكبير في اتسـاع موجة الزلزال فقد اسـتخدم ريختر المقياسـ اللوغاريتمي للموجة، وعـرف المقدار الزلزالي بأنه عبارة عن رقم لوغاريتمي عشـري اشـتق من معرفة سـعة أكبر حركة أرضية أمكن تتبعها بواسـطة جهاز الرصد على بعد 100 كم من مركز الزلزال، ولكن من النادر أن تكون جميع المحطات موزعة على بعد 100 كم من المركز، فإن السـعة يجب أن تصـحح فيما لو كان عند تلك المسـافة. تسجل الزلازل الكبيرة بشكل عادي على مقياس ريختر ولكن العلماء حاليا يفضلـون وصـف الزلازل ذات القدر الزلزالي أكبر من 6 درجات باستعمال مقياس العزم الزلزالي (Moment Magnitude (Mw لدقته العالية.

وهنـاك ارتباطاً نسـبياً بين القدر الزلزالي (M) والشـدة الزلزاليـة (I)، فكلما زادت الشـدة في منطقة ما فإن هذا يعني أن القدر الزلزالي مرتفع . ويرتبط الحد الأعلى للشـدة الزلزالية بالقدر الزلزالي على النحو المبين بالجدول التالي (الجدول 6-1) وحسب المعادلة التقريبية:

$$I = 8.16 + 1.45\,M - 2.46\ \log_{10} D \qquad (6 - 1)$$

حيث D تُمثل المسافة البؤرية.

الجدول (6 - 1): يبين الارتباط النسبيً بين القدر الزلزالي والشدة الزلزالية والتأثير.

الحد الأعلى للشدة الزلزالية Intensity	القدر الزلزالي Magnitude	التأثير
3 – 2	3	الحركة تسجل والأشياء المعلقة تهتز.
5 – 4	4	يشعر بها من في الداخل - الأضرار محلية.
7 – 6	5	يشعر بها الجميع - بعض الأضرار في المباني.
8 – 7	6	أضرار في المناطق الآهلة بالسكان والمباني العادية تتحطم.
10 – 9	7	تحطم المباني - تشققات كبيرة - انحناء السكك الحديدية.
12 – 11	8	دمار كامل - تحطم الجسور.



لا يوجد في مقياس ريختر حد أعلى أو حد أدنى، ولو أن أقصى درجة سجلها المقياس كانت 8.9، وأن تزايد درجة واحدة في القدر يعني تضاعف في حركة الأرض عشر مرات وانطلاق طاقة أكبر ب 30 مرة، وهكذا فإن زلزالاً قدره 6 سيطلق طاقة أكبر ب 30 مرة من زلزال قدره 5 وأكبر ب 900 مرة من زلزال قدره 4.

5-2-6 العزم الزلزلي Seismic Moment

يعرف العزم الزلزالي بأنه مقياس لحجم الزلازل وهو عبارة عن صلابة الصخرة مضروبة بمساحة التصدع مضروبة بمقدار الانزلاق. أو بمعنى آخر هو قياس قوة الزلازل الناتجة عن إزاحة الصدع. ومن المعروف أن مقاييس المقادير الزلزالية تعتمد على معرفة سعة الموجة السطحية، وفترة التذبذب لها، ولما كانت الزلازل ذات البؤر العميقة تكون لها موجات سطحية صغيرة فقط أو على شكل سلسلة من الموجات السطحية غير المهمة لذلك فمن المفضل عند التعامل مع كل الزلازل الأرضية أن نكون قادرين على حساب مقدار زلزالي منتظم لا يعتمد على وجود أو غياب الموجات السطحية، وقد يمكن تجنب هذه المشكلة باستخدام قياس جديد لقوة الزلازل يُدعى العزم الزلزالي. يمكن تمثيل العزم الزلزالي من خلال نظرية الإزاحة Dislocation Theory كمكافئ للمصادر المزدوجة ومن ذلك جاء تعريف العزم الزلزالي كتعبير عن الإزاحة على الصدع ومنطقة المصدر. ويمكن التعبير عن العزم الزلزالي (Mo) بالمعادلة الآتية :

$$Mo = U \quad D \quad S \qquad (6-2)$$

U = ثابت المرونة (معامل القص).

D = معدل الإزاحة (Dislocation) على مستوى الصدع.

S = مساحة مستوى الصدع.

كما أن هناك علاقات تربط بين العزم الزلزالي والمقادير الزلزالية السطحية والمحلية

$$\text{Log } Mo = 20.15 + 1.12\, ML \qquad (6-3)$$

$$\text{Log } Mo = 10.92 + 1.11\, Ms \qquad (6-4)$$



6-2-6 الطـاقة الـزلزالية Seismic Energy

مــن المعروف أن الهزات الأرضــية تتكون نتيجة للتحرر المفاجــئ لطاقة الانفعال Strain Energy المخزونة مسبقاً في الصخور ومن قياس طاقة الموجة الزلزالية الناجمة عن الكسر المفاجــئ يمكن تخمين الطاقة المتحررة من الهزات الأرضــية، وهنــاك العديد من العلاقات التي تربط بين طاقة الموجة الزلزالية (E) والمقدار الزلزالي (M):

$$Log (E) = 11.8 + 1.5 M \quad (6 -5)$$

$$Log (E) = 12.66 + 1.4 M \quad (6 - 6)$$

وقد بين بعض الباحثين صلاحية هذه المعادلة لحساب الطاقة الزلزالية للهزات الدقيقة. وهنــاك علاقات تجريبيــة أخرى مقدمة من العــالم باث (Bath) عــام 1973م للربط بين الطاقــة الزلزالية (E) والمقدار الزلزالي الســطحي (Ms) للــزلازل التي قدرها أكبر من 5 والموجات الجسمية (mb) كالآتي:

$$Log (E) = 5.24 + 1.44 Ms \quad (6 - 7)$$

$$Log (E) = 4.78 + 2.57 mb \quad (6 - 8)$$

وترتبــط الطاقة الزلزالية (E) بالمقــدار الزلزالي الســطحي (Ms) والمقدار الزلزالي الجسمي (mb)، والشدة الزلزالية القصوى (Io) على النحو التالي (الجدول 6-1):

الجدول (6-1): نسب الطاقة الزلزالية والمقدار الزلزالي الجسمي والشدة الزلزالية القصوى

الطاقة (ارج) E	Ms	Mb	Io
10^{20}	5.4	5.9	7 - 6
10^{21}	6.1	6.3	8 - 7
10^{22}	6.8	6.7	9 - 8
10^{23}	7.5	7.1	10 - 9
10^{24}	8.2	7.5	11 - 10
10^{25}	8.9	7.8	12



هنـاك علاقة تجريبيـة تربط بين المقدار الزلزالي (M) والإزاحات السـطحية الناتجة عن الصـدوع والتشـوهات في القشرة الأرضـية. فمثلا هناك علاقة تربط المقدار الزلزالي وطول الصدع (L) بالكيلومترات:

$$Ms = 6.10 + 0.70 \ Log \ L \qquad (6 - 9)$$

كمـا أن هناك علاقة تجريبيـة تربط بين إزاحة الصـدع (Fault Offset) (U) والمقدار الزلزالي (M)

$$Log (U) = 0.55 M - 3.71 \qquad (6- 10)$$

$$Log (U) = 0.67 M - 4.33 \qquad (6- 11)$$

6-2-7 هل يمكن التنبؤ بالزلازل؟

لقد عانت البشـرية ولا تزال تعاني من كوارث الزلازل التي يذهب ضـحيتها آلاف البشر بجانب الخسـائر المادية الجسـمية، ونتيجة لكون مسببات الزلازل والعمليات التي تحدث في البؤرة أثناء حدوث الزلازل ليسـت معروفة بشـكل مطلق، لذا أصبحت عملية التنبؤ بالزلازل أمـراً في غاية الصـعوبة على الرغم من بعض المحاولات الناجحـة في بعض الدول المتقدمة. يعتقـد معظم الباحثين في مجال الـزلازل أن التنبؤ بالزلازل هدف يمكن الوصـول إليه، لذا بذلت كل الجهود الممكنة من أجل الوصول إلى هذا الهدف ولو أن البعض يرى أن نتائج التنبؤ ربما تكون ضـارة وغير نافعة وخصوصاً عند فشل إحدى هذه التنبؤات، فإن الناس بالتأكيد ستتجاهل أي تحذيرات بقرب وقوع كارثة بعد ذلك.

هناك فرق كبير بين التنبّؤ وتوقّع حدوث الزلزال . فالتنبّؤ هو تحديد مكان وزمان حدوث الزلزال بدقة، ويكون في حدود عدة ساعات، وهذا غير متاح على المستوى العالمي. أما التوقع بالتخمين فهو مبني على دراسات تاريخية مستمرة للمنطقة زلزاليًّا وجيولوجيًّا.

إن الـبركان مهمـا كان أمره يمكن الفرار منه فهو ينذر النـاس قبل ثورانه، أما الزلازل فإنها لا تنذر الناس قبل وقوعها ولا يمكن التنبؤ عما إذا كانت سـتحدث بعد يوم أو شـهر أو



سنة، ولذلك فلا مفر منها، حيث إنها تضـرب ضـربتها فجأة وبعد دقيقتين أو ثلاث دقائق يكون كل شيء قد انتهي، لذا بلغ عدد من فقدوا حياتهم بسبب الزلازل أضعاف أولئك الذين فقدوا بسبب ثوران البراكين.

لقد نجح العلماء السـوفيات في تحديد وقت زلزال نوفمبر 1978م في أدي فيرجاتا قبل حدوثـه، وكذلك في فبراير 1975م تنبأ علماء الزلازل في الصـين بحـدوث الزلزال وأعطوا تحذيرات قبل حدوثه بحوالي 24 سـاعة بناء على مراقبة حركة الحيوانات بصورة رئيسية، ودراسـة ورصـد كل المتغيرات في المنطقـة. ولكن في العام الذي يليـه وبالتحديد في 27 يوليو 1976م وأثنـاء عقد مؤتمر لعلماء الزلازل في الصـين لمناقشـة النجـاح في توقع زلزال العام الماضي حدث زلزال عظيم مفاجئ قتل حوالي 250 ألف شخص.

لم تتمخض الدراسـات التي قام بها علماء الزلازل في اليابان وروسـيا والصـين وأمريكا عن أي قواعد ثابتة يمكن إتباعها للتنبؤ بقرب حدوث الزلازل، وكان أقصـى ما وصـلوا إليه هو معدل تكرار الزلازل في مكان معين، وأوصـوا بأن تكون المباني والمنشآت الهامة بعيدة عن أماكن الخطر الزلزالي حتى يمكن الإقلال من احتمالات تعرضـها للانهيار إذا حدث زلزال في مكان وجودها.

إن أهمية السـجلات التاريخية يمكن أن تسـاعدنا في تحديد الأماكن التي يتوقع حدوث زلازل فيهـا، ولكـن لا يمكـن أن تحدد وقـت وقوعها، وقد أمكـن لليابان رصـد عدة تغيرات جيوديسـية للأرض قبل عام 1964م، فقد تغير منسـوب الأرض حوالي 20 سم حدث بعدها زلزال في المنطقة في 16 يونيو 1964م.

وعموما فإن التوقع الكامل لحدوث الزلازل يتمثل في معرفة ثلاثة عناصـر أساسـية هي: مـكان وزمان وقدر الزلزال. فبالنسـبة لمكان الزلزال وقدره فقد توصـل العلماء إلى تحديد أكـثر الأماكن تعرضـاً للزلازل على الكرة الأرضـية، وقدر هذه الزلازل علـى وجه التقريب، حيث تتم الاستفادة من هذه المعلومات في اختيار أنسب الأماكن لإقامة المشروعات العمرانية والصناعية بعيداً عن أماكن الخطر الزلزالي.



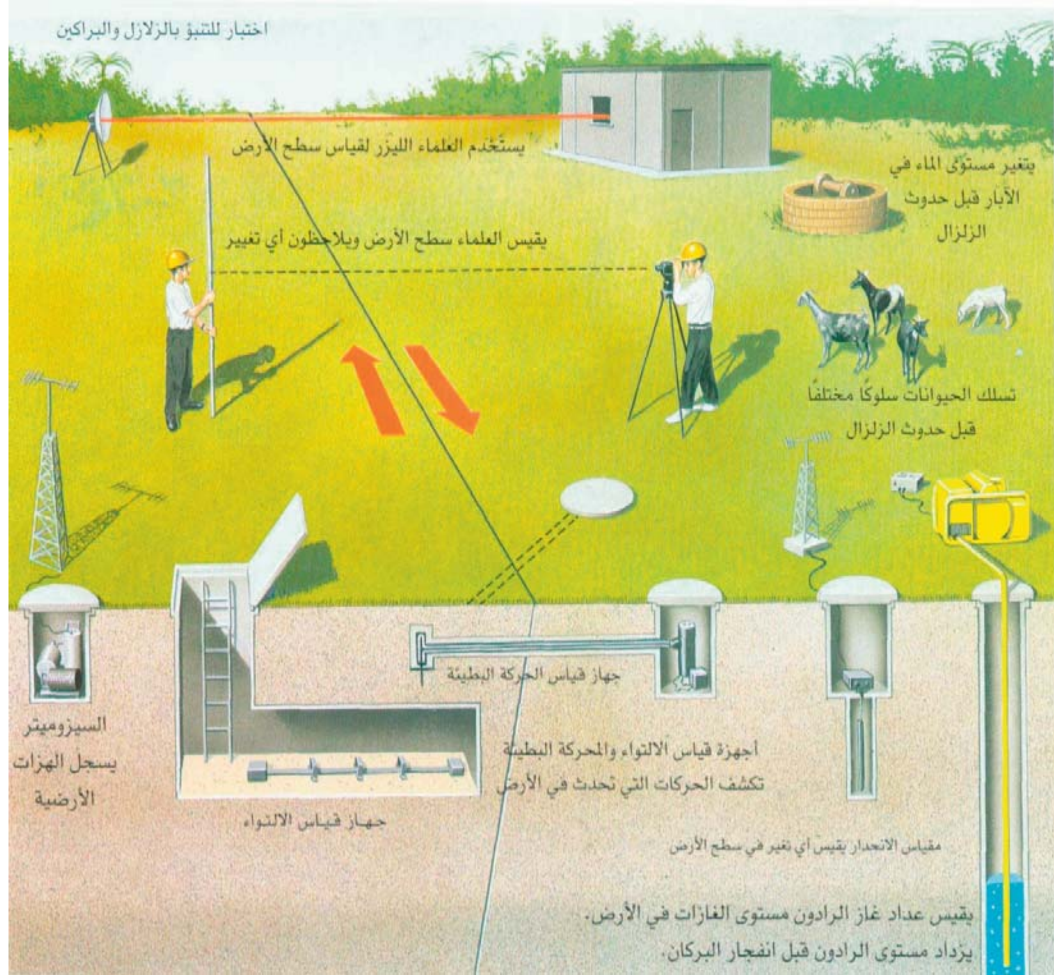
أمـا بالنسـبة لزمن الزلزال وهو أهم العناصـر، فعلى الرغم من وجـود بعض الظواهر المختلفة التي قد تدل على قرب وقوع الزلزال في منطقة ما، إلا أنها ليست قاعدة ثابتة يعتمد عليهـا في تحديد وقت حدوثه، فقد يحدث بعد يوم أو شـهر أو أكـثر، وقد لا يحدث مع وجود هذه الظواهر. ومن أهم الظواهر التي قد يصاحبها حدوث هزات أرضية (زلازل) ما يلي:

- التغيرات في سرعة الموجات الزلزالية.
- اختلال مستوى المياه الجوفية في الآبار قبل حدوث الزلازل.
- تشـوهات في سـطح الأرض في المناطق القريبة من البؤرة وتحرك القشـرة الأرضية للأعلى وتغير قيم الجاذبية.
- انطـلاق غـاز الـرادون Radon من الآبـار على امتداد الصـدوع وتغـير تركيز غاز الهليوم.
- تغير في درجة التوصيل الكهربائي للصخور وتغير في المجال المغناطيسي الأرضي.
- ازدياد نشاط الهزات الأولية قبل حدوث الزلزال.
- السلوك الشاذ لبعض الحيوانات.

8-2-6 مراحل توقع الزلزال البعيدة والقصيرة المدى

إن بعض الحيوانات ومن بينها سـمك القرش حساسـة جدا للمجال المغناطيسي للأرض ممـا يجعلهـا تشـعر بالتغيير الذي يطـرأ عليه عـادة قبل وقوع الـزلازل وكذلـك أن لبعض الكائنات الحية حاسـة سـمع مذهله تنفذ إلى باطن الأرض بحيث تستطيع التقاط الأصوات المنـذرة بقرب الهزات الأرضـية وتمييزها قبل وقوع الهـزات وبعض الحيوانات تتميز بوجود حاسة فوق العادة تعتمد عليها في معرفة أي تغير في خصائص الصخور قبل حدوث الزلازل (الشكل 6-12).





الشكل (6-12): اختبار المؤشرات القصيرة والبعيدة لمحاولة التنبؤ بالزلزال أو البركان قبل حدوثه

جميع الظواهر الوارد ذكرها تعتبر مؤشرات تنبؤ متوسط أو قصير الأمد، أما مؤشرات التنبؤ طويلة الأمد فهي تحدث في الغالب في المناطق التي تعرضت لهزات مدمرة في السابق، ويمكن التنبؤ بها عن طريق مراجعة السجلات الزلزالية التاريخية، لحساب زمن تكرار هذه الزلازل في المنطقة. إن دراسة الخرائط الزلزالية لمنطقة ما تعرضت لهزات عنيفة في الماضي، ربما يبين استمرار النشاط أو هدوء تام يتبعه انتقال في النشاط إلى مناطق مجاورة للبؤرة السابقة. وتوضع هذه الظاهرة على الخرائط الزلزالية على شكل حلقة تتكون من بؤر الزلازل للمنطقة المحيطة ببؤرة الزلزال السابق، وتعرف بالفجوة الزلزالية Seismic gap.



ومع هذا مازال توقع الزلازل عملية في مهدها ولم يستطع علماء الزلازل حتى الآن التنبؤ بدقة عن مواعيدها، وهذا قد يكون رحمة من الله بعباده، ولله حكمة في ذلك. والسؤال الذي يفرض نفسه : ماذا سوف يحدث لو أنذر الناس قبل حدوث الزلزال بساعة؟ وكيف سيتصرف الناس؟ وماذا سيحدث لحركة المرور؟ وأين سيذهب الناس ...؟!

9-2-6 الخطر الزلزالي

الزلازل جزء مأساوي من حياة البشر ورغم مخاطرها لم تستطع يوما أن تهزم في الإنسان غريزة البقاء والدليل استمرار الحياة رغم المآسي العديدة التي خلفها في أجزاء متعددة من العالم وعلى سبيل المثال زلزال كشمير في باكستان الذي وقع في أكتوبر 2005م والذي استمر 50 ثانية وخلف أضرار بشرية ومادية جسيمة وكذلك تسونامي سومطرة الذي وقع في ديسمبر 2004م وأودى بحياة 280000 شخص. إن حجم الضرر الذي يلحق بالأبنية نتيجة تعرضها للزلازل يعتمد على سعة اهتزاز القشرة الأرضية وتسارعها وعلى الصدوع والتشققات الأرضية وحركتها وكذلك على احتمال تميع تربة الأساسات في حالة التربة الرملية أو الانزلاق الأرضي في حالة الأراضي شديدة الانحدار. علاوة على نوعية المنشآت والمباني القائمة والكثافة السكانية وطبيعة النشاط الإنساني. إن التجارب البشرية اكتسبت خبرات جيدة في التعامل مع هذه الظاهرة المقلقة سواء من حيث إعداد المواصفات الهندسية للمباني أو من حيث تهيئة المرافق والخدمات لتكون على أهبة الاستعداد لمواجهة الكارثة إلا أن السيطرة الفعلية وتوقع الزلازل قبل حدوثها مازالت خارج نطاق القدرة البشرية وانحصرت في التقليل من آثار الكارثة.

إن الزلازل وما ينجم عنها من إزهاق للأرواح وهدم لمقومات الحياة بصورة آنية - قد لا تتجاوز ثوانٍ معدودة - لاسيما في المجتمعات المعاصرة التي تداخلت فيها مقومات الحياة بصورة معقدة، أدى إلى تطوير العديد من الحلول الهندسية لتقليل الآثار التي قد تسببها هذه الهزات الأرضية. ومع أن أي حل هندسي للتقليل من آثار الزلازل يعتمد على: (1) إمكانية تحديد وقت وقوع الزلزال، (2) تصميم المنشآت وتنفيذها بدون إغفال القوى



الناجمة عن الهزات الأرضــية، فان خيار التصــميم الهندسي المناسب لمقاومة الزلازل يبقى هو الحل الوحيد ويتمثل في اعتماد مواصفات البناء الهندسي الذي يحقق شرطين أساسيين هما:

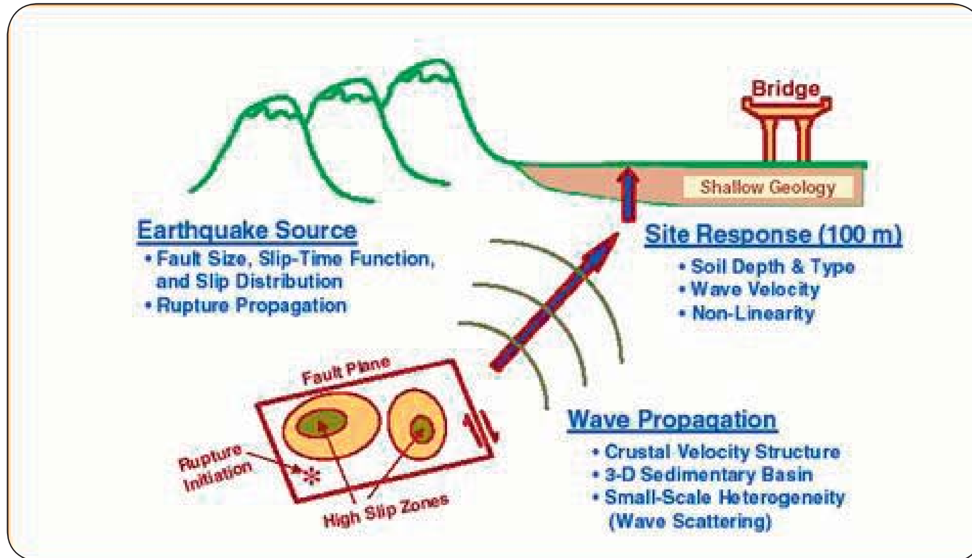
(1) تفادي انهيار المباني حتى عند وقوع زلزال شديد وبالتالي تفادي وقوع نسبة عالية من الوفيات.

(2) القبول بمبدأ الســماح بالأضرار الإنشائية التي يمكن إصلاحها بتكلفة تقل بكثير عن التكلفة اللازمة للبناء الإنشــائي الذي لا يســمح بأي ضــرر عند وقوع زلزال شديد.

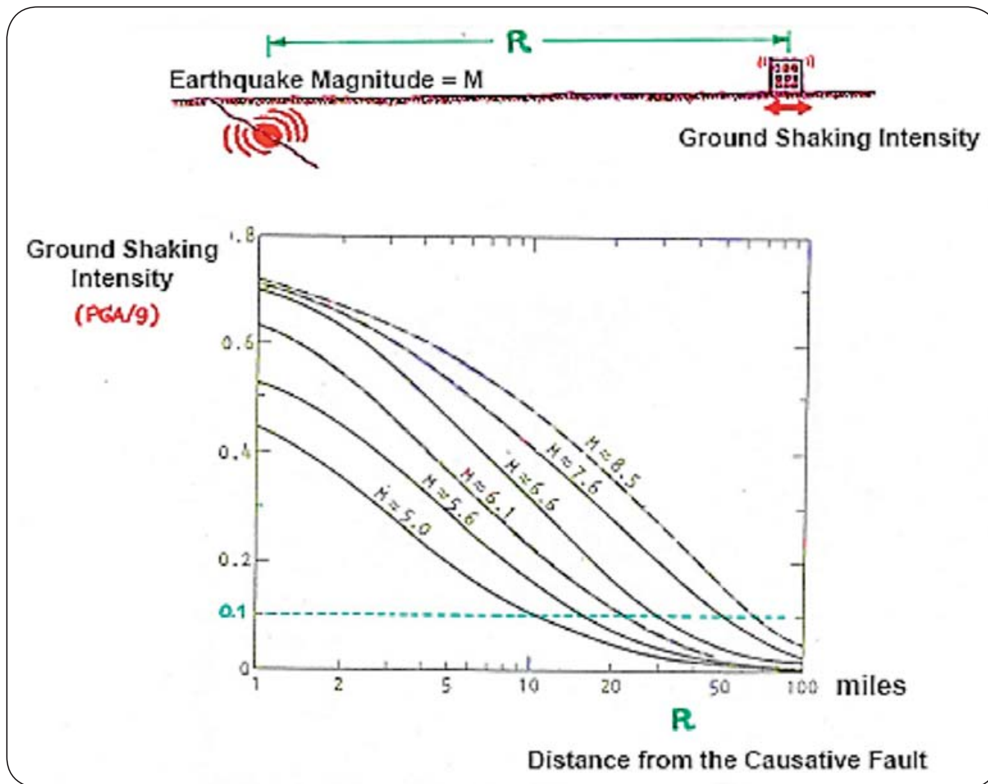
- الحركة الأرضية

من المتعارف عليه أن معظم الأضرار الأولية خلال حدوث الزلزال بسبب الحركة الأرضية ويعبر عن هذه الحركة بالتســارع الأرضــي الأقصــى PGA (الشــكل 6-13). يعتمد مستوى الحركة الأرضــية لموقع ما على بعدها من مركز الزلزال الســطحي، حيث تزداد الشدة كلما اقتربنــا مــن المركز وتقل كلما ابتعدنا (الشــكل 6-14). الحركات الأرضــية القوية يمكن أن ينجم عنها أيضا مخاطر ثانوية مثل تضخيم الحركة الأرضية وتميع التربة أو انزلاق أرضي.





الشكل(6-13) : معظم الضرر عند حدوث الزلزال بسبب الحركة الأرضية



الشكل (6-14) : العلاقة العكسية بين المسافة من الصدع وشدة الاهتزاز الأرضي



نســتنتج من ذلك أن الحركات الأرضية ذات الفترة الدورية الطويلة من الزلازل البعيدة في إيران قد تؤثر على المباني الشـاهقة والمنشئات في المنطقة الشرقية من المملكة والأمارات واحتمال تعرض الترب للتضخيم والتميع وارد كما هو موضح في محطتي الأحساء والأمارات.

- معاملات الخطر الزلـزالي

تهدف دراســة المخاطر الزلزالية إلى تقليل الخســائر البشــرية والاقتصــادية للمنشآت الحيوية والاســتراتيجية الناجمة عن حدوث الهزات الأرضية وتسهيل عملية تصميم الأبنية المقاومة للزلازل وهذا يتطلب القابلية على معرفة أقصى درجات الاهتزاز الذي يعانيه المنشأ الهندســي عند حصــول الزلزال. ولتخفيف ذلك لابد من تحديد مدى احتمال وقوع الزلازل ومقارنــة هذه المخاطر الطبيعية مع التوزيع الســكاني ومواقع المرافــق العامة والهامة ومدى تعرضــها للمخاطر وتأثرها بها وصــولاً إلى تحديد الخطر. وأخيرا وضــع تصاميم ومعايير للبناء وإنشاء وفرض تطبيقها بقدر الإمكان.

إن الكثير من المباني المعرضة للخطر لا يرجع بالضرورة إلى ارتفاع مستوى الخطر بقدر ما يرجع إلى أن هذه المباني قابلة للتأثر حتى بالاهتزازات الزلزالية ذات الشــدة المنخفضة. والسبب الرئيسي أن هذه المباني قد أقيمت باستخدام مواد وتقنيات إنشاء لا تكفل لها سوى قدر قليل من المقاومة للزلازل. ومن اشد هذه المباني قابلية للتأثر: المباني المقامة من اللبن أو الطوب غير المقوى أو الحجر ومباني الخرسانة المسلحة الخالية من جدران القص.

وتجــدر الإشــارة إلى أنه يجب التمييز بـين الخطورة الزلزالية والخطــر الزلزالي حيث تعــبر الخطــورة الزلزاليــة Seismic Hazard عــن توقــع حــدوث زلزال ذي مقــدار معين (الزلزال الحرج) خلال فترة التصــميم المتوقعة للمنشــأ الهندســي. أمــا الخطر الزلزالي Seismic Risk فإنه يدرس احتمالية كون النتائج الاقتصادية أو الاجتماعية المترتبة نتيجة حدوث زلزال معين ســوف تســاوي أو تتجاوز قيم محددة في مكان أو في منطقة معينة خلال فترة تعرض محددة.



من الاحتياجات الأساسية عند تحديد الخطر الزلزالي Risk هي معرفة المكان الذي تحدث فيه الزلازل والزمان الذي يحتمل حدوثها ولغرض التوصل إلى تصميم دقيق وقوى يجب حساب تأثيرات جميع القوى الحركية والسكونية. يشتمل الخطر الزلزالي على أربعة عناصر رئيسية:

- A: القيمة الاقتصادية Value وتشمل الخسائر البشرية والمادية .
- B: درجة التخريب الناتج عن الزلازل Vulnerability.
- C: الخطورة Hazard وهي احتمالية وقوع زلزال معين في موقع معين ضمن فترة زمنية معينة.
- D: الخطر الزلزالي Risk وهي الدرجة المتوقعة للخسائر البشرية والمادية في موقع معين ضمن منطقة معينة وفي زمن معين.

$$A \times B \times C = D \qquad (6 - 12)$$

تشتمل نماذج تحليل المخاطر الزلزالية ورسم خرائط التمنطق الزلزالي لموقع معين على تكامل الدراسات الجيولوجية والجيوتقنية والزلزالية والتي من خلالها يمكن تقويم مستوى الخطر وتحديد معامل الأمان الزلزالي بدقة (الجدول 6-2).



الجدول (6-2): الدراسات الجيولوجية والجيوتقنية والزلزالية والتي من خلالها يمكن تقويم مستوى الخطر وتحديد معامل الأمان الزلزالي

الدراسات الجيولوجية	الدراسات الجيوتقنية	الدراسات الزلزالية
• التكتونية الإقليمية ونمط التشويه.	• أنواع ترب الأساس	• رسم خرائط البؤر السطحية للزلازل.
• خرائط الصدوع ضمن 100 كم٢.	• معالجة عدم استقرار الميل.	• تحديد شدة ومقدار الزلزال والتكرارية.
• تحديدأنواع الصدوع واتجاهاتها.	• تطويرمعاملات الحركة العنيفة.	• دراسة مستوى الشدة الزلزالية التاريخية والحديثة قرب الموقع.
• الإزاحات الحديثة على طول الصدوع.		• علاقة مواقع الزلازل مع الصدوع.
• الانزلاق والانهيارالأرضي		• تخمين الشدة الزلزالية المستقبلية (التعجيل – السرعة – الفترة).
		• تحليل سجلات الحركة العنيفة من الزلازل التاريخية.

هناك ثلاثة شروط يجب توفرها لتحديد إمكانية حدوث الكارثة الزلزالية. الشرط الأول هو كمية القدر الزلزالي حيث أن الأحداث الزلزالية الصغيرة لا ينتج عنها هزات أرضية عنيفة بصورة كاملة وحادة لكي تتسبب في الدمار الشامل. الشرط الثاني هو قرب المصدر الزلزالي. الشرط الثالث هو أن الحدث الزلزالي يعتمد على درجة الاستعداد للكارثة. لا تعتمد خطورة الزلزال على مدى زلزالية المنطقة أو الإقليم فحسب ولكن أيضًا على الكثافة السكانية والنمو الاقتصادي. بالرغم من أن الزلزالية تظل ثابتة، فإن الكثافة السكانية والنمو الاقتصادي يزداد بشكل سريع. ومن أهم العناصر الضرورية للتهيؤ للكوارث هو قابلية التأثير Vulnerability أي تخفيف عواقب الزلازل المدمرة، حيث نجد أن الفترة



الطبيعية (بالثواني) للمباني الشاهقة تزداد مع الارتفاع على النحو التالي : الفترة الطبيعية (بالثواني) = عدد الطوابق / 10 . فنجد أن المباني المكونة من 50 طابق تبلغ فترتها الطبيعية 5 ثواني بينما تصل إلى 10 ثواني في 100 طابق (الشكل 6 -15).

المخاطر الطبيعية

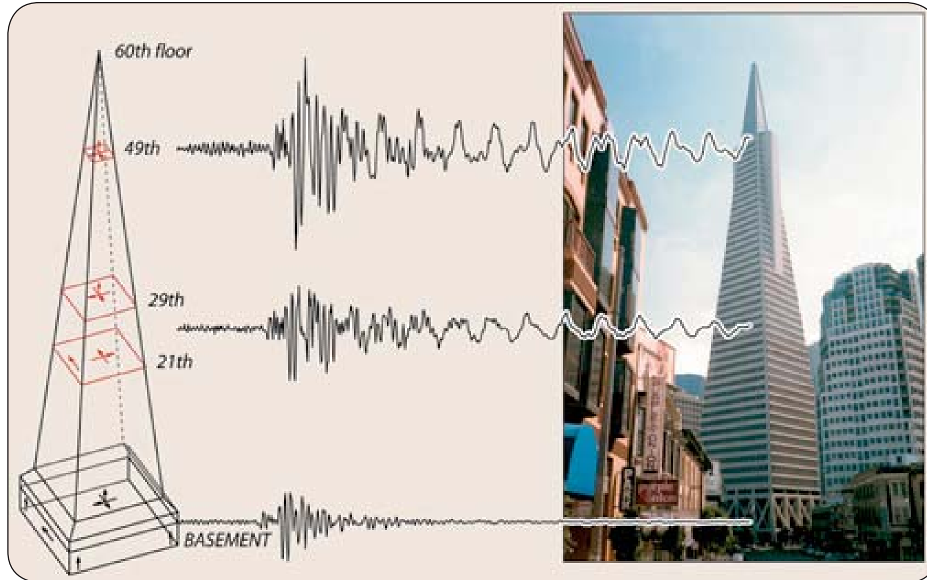
يمكن تقسيم المخاطر الطبيعية والعوامل المسببة لها (الشكل 6-16) إلى:

• أرضية

وتشمل البراكين والزلازل والتصدعات والإنهيارات والإنخسافات الأرضية وزحف الرمال، وتعرية التربة والموجات البحرية العالية (التسونامي).

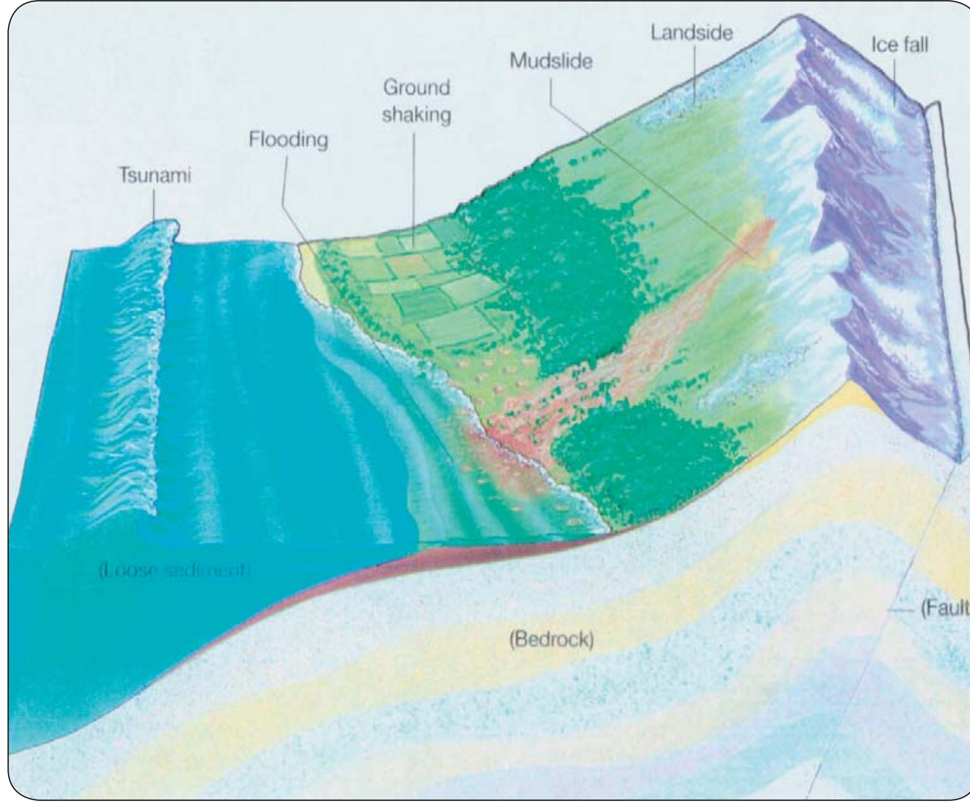
• جوية

وتشمل السيول والفيضانات ، والثلوج ، الجفاف والقحط ، والموجات الهوائية الباردة والحارة، والبرد ، العواصف والأعاصير كالهوريكن والتورنيدو، والصواعق، والصقيع ونحوها.



الشكل (6-15): تضخيم الموجة في الطوابق العليا حيث يزداد التأثر بها





الشكل (6-16): نموذج يوضح بعض المخاطر الطبيعية الأرضية

غالبا ما يكون مصدر الخطر الزلزالي ناتج عن الحركة الارتدادية المتكررة التي يسببها الزلـزال للمبنـى في الاتجاهين الأفقي والرأسـي بقوى عـزم والتي بدورها تسـبب دورانا أو انقلابا للمبنى ، وبسبب هذه القوى الاهتزازية المتكررة فإن عناصر المبنى تبدأ في فقد قوتها وتماسكها ومن ثم انهيارها.

الذي يجب عمله من الناحية الجيولوجية هو دراسة الانهيارات والانزلاق الصخري والتي تنتج عن شـدة التضاريس والميول الحادة وهذه تصاحب فترة هطول الأمطار. ومن الملاحظ أن الزلازل يصـاحبها انهيارات وهذه خطيرة بالنسـبة للمباني الواقعـة على رؤوس الجبال وكذلك قد يصـاحب الهزات الأرضـية تميع للتربة أي أن التربة تفقد قدرتها على التماسك ومقاومة الأحمال. وقد يسـبب انهيارا للأسـاسـات حتى المباني المقاومة للزلازل. أي أنه لابد



من إعطاء مشاريع دراسة خواص التربة أهمية خاصة وكذلك اختلاف سماكة المتكونات الرسوبية والملحية، وعموما يعتمد مقدار الخطر الزلزالي الذي يتمثل بصفة أساسية في الدمار والهلاك المصاحبين للهزة الأرضية على عاملين هما:

- **الشدة الزلزالية** Seismic Intensity

تستخدم نظرية الإحصاء والاحتمالات لتحديد مستوى الشدة الزلزالية في منطقة ما خلال فترات زمنية مستقبلية مع توقع زيادة في هذا المستوى باحتمال قدره 10% وبعد رسم الخريطة الكنتورية للقيمة القصوى لعجلة (تسارع) الحركة الأرضية المتوقع حدوثها أفضل أسلوب لتوضيح قيم الشدة الزلزالية بهذه المناطق. تمثل قيمة هذه العجلة كنسبة عشرية أو مئوية من قيمة عجلة الجاذبية الأرضية (g). تصنف المناطق من حيث خطورتها الزلزالية طبقاً لقيمة عجلة الحركة الأرضية إلى أربعة مناطق هي:

- خالية من الخطر (أقل من 0.05 g).
- منخفضة الخطر (تتراوح من 0.05 g إلى 0.1 g).
- متوسطة الخطر (تتراوح من 0.1 g إلى 0.2 g).
- عالية الخطر (اكبر من 0.2 g).
- كفاءة المباني

تستخدم خريطة العجلة الأرضية في تقويم كفاءة المباني المقاومة ومعرفة مدى مقاومتها لمستوى الشدة الزلزالية المتوقعة. كما تستخدم في أغراض التصميم الزلزالي للمباني إما مباشرة أو من خلال تحديد المعامل الزلزالي للمنطقة. وطبقاً لنتائج الشدة الزلزالية فإنه على ضوئها يمكن تقدير مدى التلف المتوقع مستقبلاً للمنشآت. حيث تصل نسبة التلف في المباني الخرسانية المسلحة التي لم يراعي في تصميمها مقاومة الزلازل (حوالي 33%) عند زلزال شدته VIII على مقياس ميركالي المعدل، بينما تبلغ نسبة التلف في المباني الخرسانية المسلحة التي تم تصميمها بطريقة مقاومة للزلازل (13 %) تقريباً عند نفس الشدة الزلزالية.



3-6 البـراكيـن Volcanoes

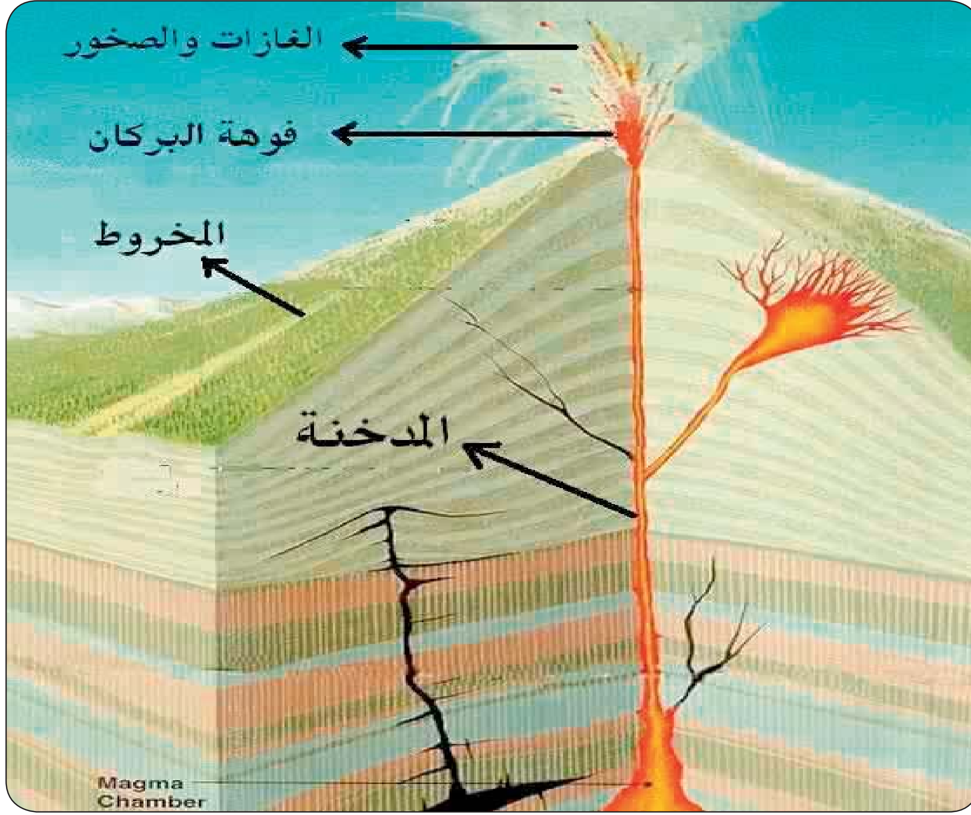
البركان Volcano مصـطلح جغرافي مقتبس عن اسـم إله النار عنـد الرومان، وعرفه العرب باسـم جبل النار وأم النار وأطمة النار. البركان Volcano مصطلح جغرافي مقتبس عن اسم إله النار عند الرومان، وعرفه العرب باسم جبل النار وأم النار وأطمة النار. تلعب البراكين دورا مهما في العمليات الجيولوجية التي تؤثر على تطور القشـرة الأرضـية وتشكلها وأصـبحت دراسـة البراكين علما قائما بذاته يعرف باسـم علم البراكـين Volcanology. ويصـاحب البراكين غالبا تكون معادن وخامات ذات جدوى اقتصـادية. البراكين عبارة عن انفجارات متتالية تدفع الحمم و اللافا والغازات والغبار إلى الخارج، هذه الانفجارات تؤدي الى تدمـير البنية التحتية في المناطق القريبة من البراكين كما أنها تطلق الغاز السـام الذي قـد يؤدي إلى الوفيات . والرماد البركاني الحار يصـل إلى مسـافات طويلة ، وقد يؤدي إلى احتراق أو طمر التجمعات السـكنية ، أو يتساقط ملوثا المناطق الأخرى الأكثر بعدا. والحمم السـائلة (اللافا) تندفع إلى الخارج من فوهة البركان وتسير مسافات طويلة قبل تجمدها. وعموماً يتكون البركان من الأجزاء التالية (الشكل 6-17):

- جبل مخروط: يتركب من حطام صـخري أو لافا متصـلبة. وهي المواد التي يقذفها البركان من فوهته وكانت كلها أو بعضها في حالة منصهرة.

- الفوهة: عبارة عن تجويف مسـتدير الشكل تقريبا في قمة المخروط ، يتراوح اتساعه بين بضـعة آلاف مـن الأمتار. وتنبثق مـن الفوهة على فترات غازات وكتل صـخرية وقذائف وحمم ومواد منصـهرة (لافا) وقد يكـون للبركان أكثر من فوهة ثانوية إلى جانب الفوهة الرئيسية في قمته.

- المدخنـة أو القصـبة: وهـي قناة تمتد من قاع الفوهة إلى أسـفل حيث تتصـل بفرن الصهير في جوف الأرض. وتندفع خلالها المواد البركانية إلى الفوهة. وتعرف أحيانا بعنـق البركان. وبجانـب المدخنة الرئيسـية ، قد يكون للبركان عدة مداخن تتصـل بالفوهات الثانوية.





الشكل (6 - 17): أجزاء البركان

6-3-1 أسباب النشاط البركاني Causes of volcanic activity

يحدث النشاط البركاني بسبب عوامل فعالة في باطن الأرض وتشترك جميعها في إحداث الثوران البركاني وهذه العوامل هي:

الطاقة الحرارية: تعمل على صهر الصخور وتقليل لزوجتها وصعودها إلى القشرة الأرضية وذلك اعتمادا على الفيض الحراري الأرضي والتوصيل الحراري والتدرج الحراري. وهناك ثلاثة مصادر رئيسة للطاقة الحرارية التي تتسبب في انفجار البراكين هي: -

الإشعاع الذري: وينتج عن عمليات تحلل نظائر العناصر المشعة مثل اليورانيوم والثوريوم التي تتميز بأنها توجد طبيعياً في حالة غير مستقرة مما يجعلها تتفكك فتنبعث منها جسيمات



نووية إشــعاعية كهرومغناطيسية تحمل طاقة هائلة تودعها في المادة المحيطة في شكل حرارة تعمل على تسخين الصخور في باطن الأرض مؤدية إلى انصهارها.

الاحتكاك: ويحدث عنها تولد حرارة تكفي لصـهر بعض الصخور مكونة الصهير الذي لا يلبث أن يندفع إلى سطح الأرض تحت تأثير عوامل أخرى مثل الضغط وكثافة المادة المصهورة.

الطاقة الحرارية الأرضية : وهي طاقة إضافية موجودة أصلاً تحت القشرة الأرضية وناجمة عن وجود الصخور الأرضية في حالة منصهرة.

الضغط : يعمل الضغط الذي يحدث على المواد المصهورة داخل القشرة الأرضية على ازدياد حالة عدم استقرارها وتوجيهها للمناطق الضعيفة الموجودة في الصفائح التكتونية ويتسبب ارتفاع درجة الحرارة داخل غرفة الصهير على زيادة تمدد الغازات ومن ثم ارتفاع درجة الحرارة داخل غرفة الصهير على زيادة تمدد الغازات ومن ثم ارتفاع الضغط الداخلي فيندفع الصهير أو يتسرب عبر الشقوق والصدوع مصحوبا بتفاعلات أكسدة الهيدروجين التي تنبعث منها حرارة (تفاعلات طاردة للحرارة) ويصحب ذلك إنفجارات عنيفة مدوية داخل القصبة البركانية مكونة ينابيع من اللابة والحمم والأبخرة المتطايرة والمندفعة إلى أعلى في هيئة ثوران بركاني.

2-3-6 أنـــواع الـبراكين Types of volcanoes

تنقسم البراكين من حيث نشاطها إلى ثلاثة أنواع هي:

البراكين النشطة : براكين دائمة الثورة منذ نشأتها ولا تتوقف عن النشاط وتنبعث من الحمم البركانية باستمرار ومن أمثلة البراكين النشطة بركان مونالوا وموناكيا في هاواي وبركان فيزوف في إيطاليا.

البراكين النائمة : براكين التي تتوقف عن النشاط لفترة زمنية قصيرة ثم تثور مرة أخرى ثم تتوقف ويكرر نشاطها على فترات متقطعة ومن أمثلة البراكين النائمة بركان مونت



تمبورا ، بركان كراكاتوه في أندونسيا، وبركان مونت بيليه في المارتينيك ، وبركان مونت سان هيلين في ولاية واشنطن بأمريكا.

وتعتبر البراكين النائمة أخطر أنواع البراكين ويكمن خطرها على الإنسان وممتلكاته في الأمان الظاهري الذي يحسه في فترات سكونها ثم ثورتها البركانية فجاءة على حين غفلة.

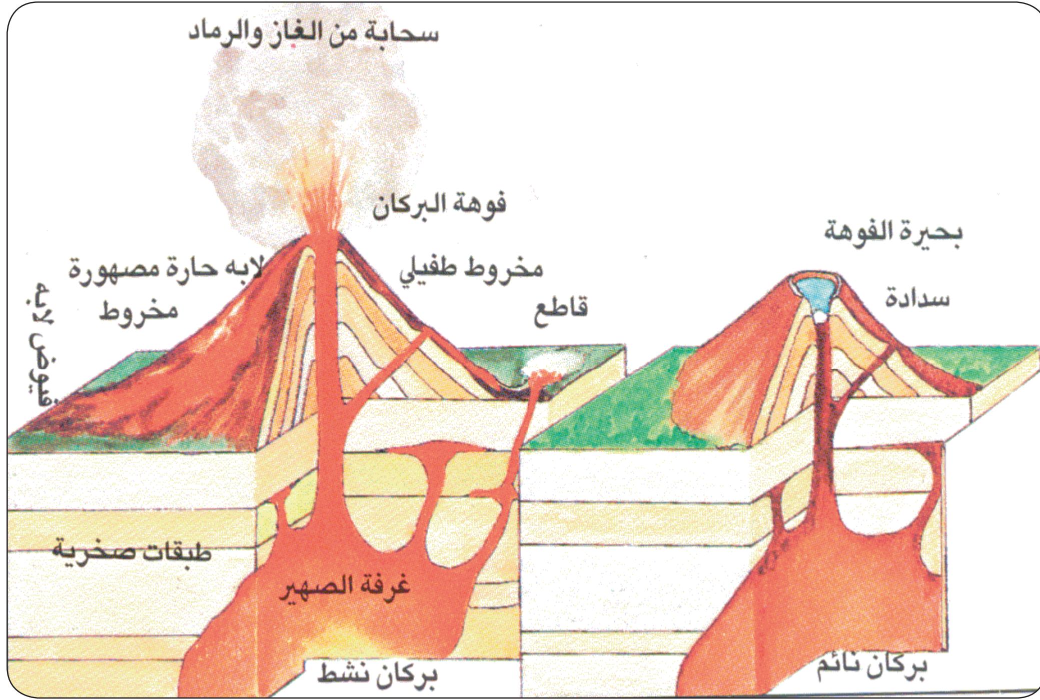
البراكين الخامدة : براكين لم يحدث لها نشاط بركاني منذ فترة طويلة جداً تزيد على 25ألف عام ومن أمثلة ذلك البراكين التي كونت الصخور البركانية الانديزتية والريولاتية والبازلتية التابعة للعصور الجيولوجية (من عصر ما قبل الكامبري إلى العصر الثلاثي والرباعي) مثل حرات المملكة العربية السعودية وكلها عبارة عن براكين خامدة لم تثر منذ ما يربو على 1.8 مليون عام تقريباً. لا يختلف البركان الخامد في شكله عن البركان النائم (الشكل 6-18) ومن مميزاتهما تكون حوض على قمة الفوهة يمتلئ بالمياه السطحية ليكون ما يعرف باسم بحيرة الفوهة وقد يصل قطر هذه البحيرة إلى عشرة كيلو مترات نتيجة لتكرار الثوران البركاني وما يصحبها من عمليات هدم وتكهف في جوانب المخروط إلى داخل البركان ويسمى هذه التركيب باسم الحوض المرجلي (كالديرا) .

البراكين البحرية: براكين تنشط في قيعان المحيطات محدثة حرارة عالية في المياه إلا أنها لا تلبث أن تهدأ سريعا و لكن قد يكون لها أثر في تغيير بعض معالم قاع المحيط . ومن امثلة ذلك بركا ن جزيرة جبل الطير في اليمن عام 2007 م.

إن حقيقة البحر المشتعل أو البحر المسجور أصبحت يقيناً ثابتاً فنحن نستطيع اليوم مشاهدة الحمم المنصهرة في قاع المحيطات وهي تتدفق وتُلهب مياه المحيط ثم تتجمَّد وتشكل سلاسل من الجبال قد يبرز بعضها إلى سطح البحر مشكلاً جزراً بركانية. هذه الحقيقة العلمية لم يكن يعلمها أحد أثناء نزول القرآن ولا بعده بقرون طويلة، و قد ذكر الله سبحانه و تعالى هذا النوع من البراكين في كتابة حيث قال (والبحر المسجور: الطور 6) أي البحر الذي يتوقد نارا (وإذا البحار سجّرت : التكوير 6) وروى عبد الله بن عمرو ان رسول الله ﷺ



قال "لا يركب البحر الا حاجا أو معتمرا أو غازيا في سبيل الله فان تحت البحر نارا و تحت النار بحرا» رواه ابوداود.



الشكل (6-18): يوضح الفرق بين البركان النشط والنائم

6-3-3 اشكال البراكين Volcanoes forms

- البراكين المخروطية

يقذف الثوران البركاني المتوسط الشدة والقوي الغبارَ والرماد البركاني واللابة في الهواء، لتصل إلى ارتفاعات كبيرة، ثم تتصلب المادّة المقذوفة بسرعة في الهواء، وتعود إلى الأرض على شكل مخروطٍ (الشكل 6-19). يختلف شكل المخروط البركاني باختلاف المواد التي يتركب منها. فإذا كان المخروط يتركب كلية من الحطام الصخري، فإننا نجده مرتفعا شديد الانحدار بالنسبة للمساحة التي تشغلها قاعدته، وتتمثل في جزر إندونيسيا.





الشكل (6-19): حرة هتيمة جنوب شرق حائل بالسعودية عمرها اقل من 2 مليون سنة وتمثل نموذج لبركان مخروطي حديث

- البراكين الدرعية (الهضبية)

تنشأ نتيجة تدفق اللابة البازلتية في صورة طبقات أفقية منبسطة والغنية بالحديد والماغنسيوم والقليل من السليكا وتراكمها حول فوهة رئيسية ولهذا تبدو قليلة الارتفاع بالنسبة للمساحة الكبيرة التي تشغلها. وتبدو قممها أشبه بهضاب محدبة تحدبا بسيطا وقد نشأت هذه المخاريط من تدفق مصهورات اللافا الشديدة الحرارة والعظيمة السيولة (الشكل 6-20). إن البراكين الدرعية منخفضة وواسعة نظرًا لأن الحمم البركانية تكون سائلة فهي أقل لزوجة من حمم البراكين الطبقية، ومن ثم فهي تنتقل سريعًا وبعيدًا عن فوهات البراكين وتتمثل هذه البراكين الهضبية براكين جزر هاواي كبركان مونالوا الذي يبلغ ارتفاعه 4100 م.





الشكل (6-20): شكل البركان الدرعي

- البراكين الطباقية (المركبة)

تتكـون البراكين الطبقيـة في المناطق السـاحلية وعلى الجزر في مناطـق الطرح القاري (حيـث تعلو القشـرة القارية فوق القشـرة المحيطيـة). ولا تثور هذه البراكـين كثيرًا بيد أن ثوراتها غالبًا ما تكون عنيفة و تأخذ شـكل مخروطي ذي فوهة على القمة (الشـكل 6-21). قـد تكـون الفوهة عبارة عن بحـيرة بركانية أو حفرة تفجـرت أثناء ثورة الـبركان العنيفة. تتركب مخروطاتها من مواد الحطام الصـخري ومـن تدفقات اللافا التي يخرجها البركان حـين يهدأ ثورانه. وتكون اللوافـظ التي تخرج من البركان أثناء الانفجارات المتتابعة طبقات بعضـها فوق بعض، و تتداخل اللافا في هيئة أشـرطة قليلة السـمك. ومن هذا ينشـأ نوع من الطباقيـة في تركيب المخـروط. ومن أمثلة ذلك جبل إتنا في إيطاليا وجبل سـانت هيلينز في الولايـات المتحـدة وجبل كوتوباكسـي في الإكوادور وجبل فوجي في اليابـان وجبل بيناتوبو في الفلبين ومنها ايضا بركان جبل القدر شمال شرق المدينة المنورة.





الشكل (6-21): البركان الطباقي (المركب)

- براكين الشقوق

تتدفق عبر شــقوق هذا النوع من البراكين لافا شــديدة الميوعة ذات حرارة مرتفعة جداً، وتغطي مساحات من القشرة الأرضية وتأخذ اللافا (اللابة) بعد تبردها وتحولها إلى الحالة الصــلبة شــكل التضــاريس الأصــلية المنطقة التي تدفقت فيها ، وفي مثل هذه الحالة تتشكل مباشــرة فوق الشــق مخاريط من الرماد البركاني ، أو حواجز كاملة من الرماد ، ولكن هذه الأشكال تتهشم بسرعة تحت تأثير عوامل التعرية ، وكانت براكين الشقوق أكثر انتشارا أثناء فترات جيولوجية سابقة ويطلق على هذا النوع من البراكين اسم البراكين اللافية.

- البحيرات البركانية (الكالديرا)

يحــدث في بعض الحالات من الاندفاع البركاني ذات الانفجارات الحاوية المواد الغازية، أن تتحطم الاجزاء الداخلية من البركان وتقذف صــخورها على شكل قطع مختلفة الاشكال والاحجــام، وتتشــكل في هــذه الحالة مناطق فارغة داخل جســم الــبركان ، ويمكن لمثل هذه



الفراغــات أن تتكون كذلك في حالة توقف الماجما Magma عن الخروج، وقد يصــل امتداد هذه الفراغات الى ســطح البركان ، وعندئذ يتشــكل على الســطح منخفض عميق حوضــي الشــكل له جوانب قائمة أو شــديدة الانحدار يطلق عليه اســم كالديرا (الشكل 6-22)، يبلغ قطره عشرات الكيلومترات .



الشكل (6-22): الحوض المرجلي (كالديرا)

6-3-4 مناطق النشـاط الـبركـاني Zones of volcanic activity

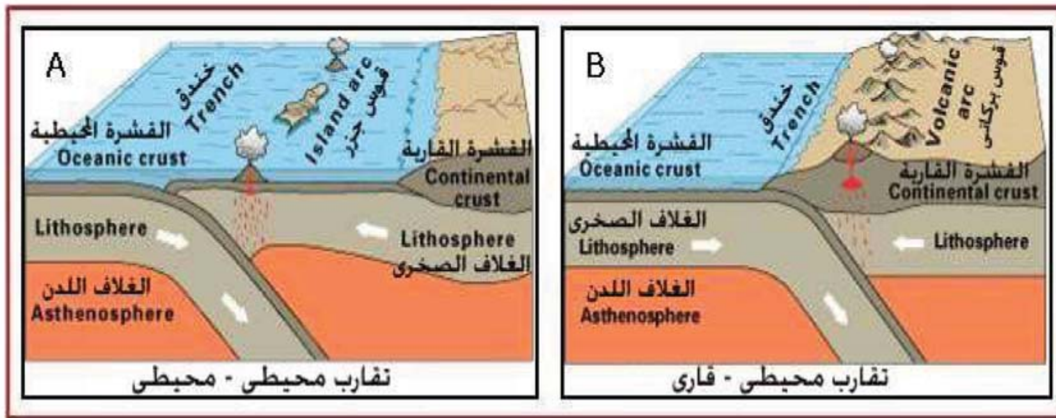
يعد النشــاط البركاني ذو صلة وثيقة بأجزاء الأرض التي تكثر بها الهزات الأرضية مما يــدل على أن عمليات البركنة ذات علاقة بالعمليات الأرضــية التي تحدث على أعماق كبيرة تحت القشــرة الأرضية قد تصل أحياناً إلى 700 كيلو متر. وعموما تنحصر مناطق النشاط



البركاني في وسط المحيطات ومناطق الاندساس وعلى طول الحواف الجانبية للصفائح التكتونية وداخلها (الشكل 6-23) وذلك على النحو التالي:

- **مرتفعات وسط المحيط :** ينشأ النشاط البركاني في هذه الحالة على طول مرتفعات وسط المحيط عند حدود تباعد الصفائح التكتونية حيث يُدفع الصهير من باطن الأرض (الوشاح العلوي) عبر شقوق موجودة على طول حيد منتصف المحيط (Mid Oceanic Ridge) تاركا اللابة تتجمد تحت مياه البحر لتكوين ما يعرف باسم الحمم الوسائدية التي تتولد منها قشرة محيطية جديدة.

- **حواشي القارات:** ينشأ النشاط البركاني في هذه الحالة عند حدود تقارب الصفائح التي تسمى إما بمناطق الاندساس أو مناطق التخطي ويرتبط بمناطق الاندساس أو التخطي ما يعرف باسم أقواس الجزر حيث تكون العدد الأكبر من البراكين غير المغمورة تحت الماء التي هي عبارة عن مرتفعات وعرة شديدة انحدار الجوانب مكونة من فيوض اللابة والحمم والرماد البركاني ومن أمثلة ذلك تكون أقواس جزر المحيط الهادي التي تشكل نظام دائري حول المحيط وتشيع فيه أحزمة الجبال المشهورة في العالم المعروفة باسم حلقة النار نظرا لتكرار حدوث الزلازل عميقة البؤرة فيه وكثرة الثوران البركاني كما في اليابان والفلبين وألاسكا وغرب أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية.



الشكل (6 - 23): المظاهر الجيولوجية الناتجة من تصادم صفيحتين. (A) تكون الجزر القوسية من تصادم صفيحتين محيطيتين. (B) تكون الأقواس البركانية من تصادم صفيحة محيطية مع اخرى قارية



- **الحواف الجانبية للصـفائح :** يمكن للنشــاط البركاني أن ينشأ عند مناطق الصدوع المحولة (Transform Faults) وهي عبارة عن كسور في القشرة الأرضية تنزلق على طولها الصـفائح بجانب بعضها البعض متلائمة وتناسب ببطء ويحب ذلك نشاط زلزالي (خاصة الزلازل ضحلة البؤرة) وخروج بعض الصهير.

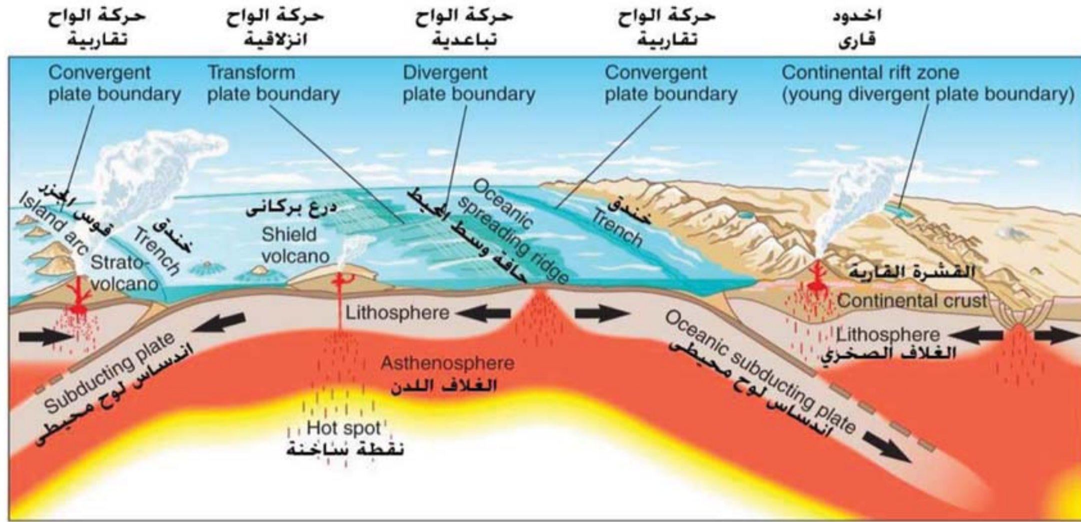
- **داخل الصفائح التكتونية :** لا تخلو أواسط الصفائح التكتونية من نشاط بركاني وفي هذه الحالة ينشــأ العديد من البراكين دائمة النشــاط فوق مناطق البقع الحارة حيث تستمد الصهير من جوف الأرض عبر مصدر يسمى نافورات الوشاح ومن أمثلة ذلك سلسلة الجزر البركانية التي تشكل أرخبيل هاواي في وسط صفيحة المحيط الهادي (الشكل 6-24).

ومن المعلوم أن معظم البراكين توجد ضـمن أحزمة الجبال الحديثة التي لها صـلة وثيقة بحدود الصــفائح التكتونية في المناطق التي حدث بها تجعد وطي وتكسـر حديث وقد تم خلال الخمســمائة سنة الأخيرة اكتشاف ما يقرب من 615 بركان نشط منها حوالي 30 بركان تثور كل عام تقريباً ويوجد حوالي 80 بالمائة من هذه البراكين النشـطة ضـمن ما يسمى حلقة النار الذي يمتد على السواحل الشرقية من المحيط الهادي فوق مرتفعات الأنديز إلى أمريكا الوسطى والمكسـيك، وفوق مرتفعات غربي أمريكا الشــمالية إلى جزر الوشيان ومنها إلى سواحل شرق قارة آسـيا إلى جـزر اليابان والفليبين ثم إلى جزر إندونيسـيا ونيوزيلندا. كذلك يوجد الكثير من البراكين الضـخمة في المحيـط الهادي ومنها براكين جزر هــاواي التي ترتكز قواعدها في المحيط على عمق نحو 5000 م، وترتفع فوق سـطح مياهه أكثر من 4000 م. وفي جنوب أوربا هناك براكين نشـطة ومنها بركان فيزوف المشــهور قرب نابولي بإيطاليا، وأتنا بجزر صـقلية وأسـترو مبولي في جزر ليباري. وفي مرتفعات غربي آسيا من أشهر براكينها أرارات واليوزنز. وفي شرق افريقيا نجد براكين كلمنجارو. عموما هناك توزيعان كبيران للبراكين :

الأول : "دائرة الحزام الناري"، وتقع في المحيط الهادي.

والثـاني: يبـدأ من منطقة بلوشسـتان إلى إيران، فآسـيا الصـغرى ، فالبحر الأبيض المتوسط ليصل على جزر آزور وكناري ويلتف إلى جبال الأنديز الغربية في الولايات المتحدة.





الشكل (6-24): مقطع يوضح حركية الصفائح وعلاقتها بتشكل البراكين

6-3-5 طرق إثارة البركان Methods of volcanic eruption

كما ذكرنا توجد البراكين بالقرب من حواف قطع الصفائح أماكن ضعيفة تعرف بالشروخ أو الشقوق (cracks). ونتيجة وجود الصخور في أعماق كبيرة بالأرض حيث درجة الحرارة والضغط المتزايدين، تذوب هذه الصخور وتتحول إلى حمم. وتبقي هذه الحمم تحت ضغط كبير، وهذا يساعدها على حفر نفق إلى أعلى خلال الشروخ، فتندفع وتخرج لمسافات تتراوح ما بين 20 و 150 كيلومتراً. وتترسب الحمم بالقرب من فوهة البركان ثم تبرد وتتكون التلال والجبال. وكلما كانت الحمم الخارجة أكبر، كلما كان البركان أعلى وأعرض.

ويثور البركان بطرق مختلفة. فقد يُطلق جدولاً (stream) من الحمم المتألقة عالياً في الهواء مثل نافورة نارية ضخمة، أو قد يُطلق كتلاً صلبة من الصخور الحمراء الساخنة والجمرات (cinders) إلى الخارج، أو قد ينتج عن البركان نهر من الحمم خلال الشروخ وعلى جانبيها (الشكل 6-25) . فإذا كانت الحمم خفيفة فإنها تنتشر وتصنع بركاناً عرضاً مستوياً، وإذا كانت الحمم سميكة صنعت بركاناً مخروطي الشكل بجوانب منحدرة. وينتج عن النشاط البركاني عدد من الظواهر المختلفة، أهمها أنه تُسخن مياه الأرض بالحمم البركانية المصهورة، فتندفع نوافير (jets) من الماء المغلي والبخار إلى خارج الأرض



بالقــرب من حجرات الحمم تسـمى بالفوارات (geysers) وقد يكـون البركان متفجراً أو غير متفجر. والبركان الذي ينتج تحت المحيط هو من النوع غير المتفجر أما الذي يحدث على اليابسة فهو من النوع المتفجر. وتسري حمم البركان غير المتفجر بسرعة كبيرة نسبية في قاع المحيط بالقرب من المنبع ولكنه يبرد بعيداً عنه. أما البركان المتفجر على اليابسـة فيسـبقه رماداً أو شظايا أو حمم ثم يتبعه فترة سكون عندما تسد الحمم مؤقتاً فوهة البركان. ثم بعد فترة قصيرة، تحدث ثورة عنيفة منتجة نافورة من الحمم ترتفع إلى أعلى لمسافة الكيلومتر أو أكثر، والحمم المكونة بهذه الطريقة سائلة وتنتقل بسرعة كبيرة جداً (الشكل (6-26).



الشكل (6-25): انواع اللافا (اللابه)



الشكل (6-26): انواع الطفوح (الانفجارات) البركانية

6-3-6 توقع النشاط البركاني Expectation of volcanic activity

يمكن التنبؤ بثورة البركان اليوم بدرجة عالية من الدقة، حيث يمكن مراقبة البراكين النشطة بالوسائل التالية (الشكل 6-27):

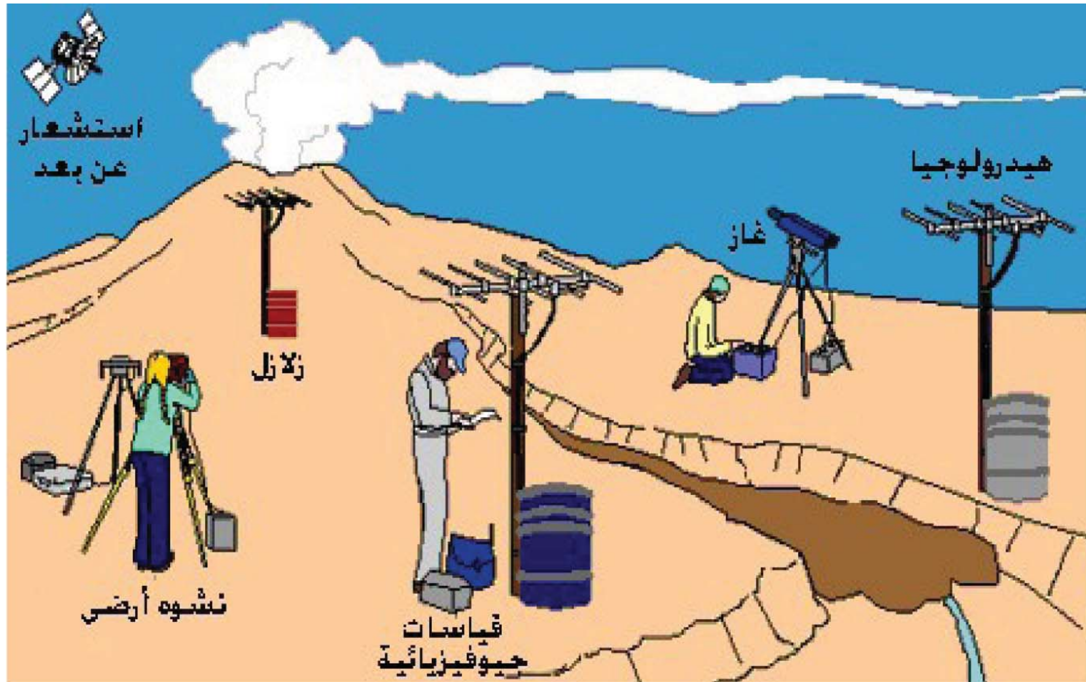
- مراقبة البراكين بالوسائل الجيوفيزيائية حيث أن حدوث الثوران يتم بعد تحرك كميات كبيرة من الصهير موجود تحت البركان وهذا يؤدي إلى تغير المجال المغناطيسي والظروف الحرارية المحلية بحيث يمكن اكتشاف تلك الحرارية المحلية بحيث يمكن اكتشاف ذلك بالأجهزة الجيوفيزيائية وأجهزة الاستشعار عن بعد.

- طبوغرافية البركان مثل ميل قمته وانبعاجها أو انتفاخها أو هبوطها مما يدل على حركة الصهير وصعود إلى أعلى.

- مراقبة السلوك الزلزالي حيث يصحب صعود الصهير العديد من الهزات الأرضية الصغيرة التي يمكن تسجيلها بواسطة مقياس شدة الزلازل (السيزمومتر) وهي تدل على قرب الثوران البركاني (الشكل 6-28).

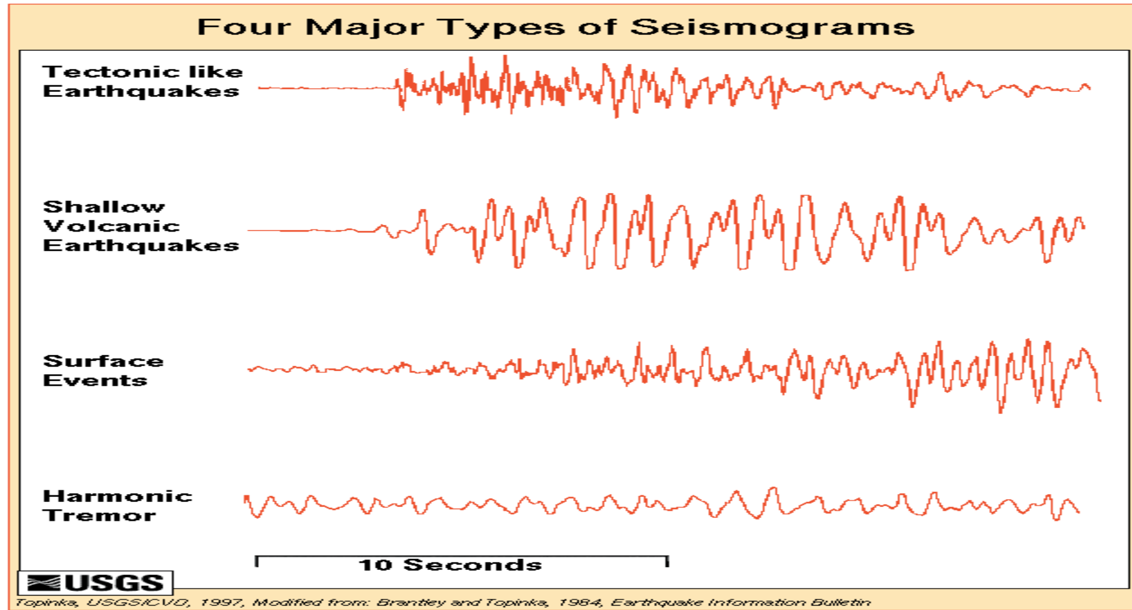


- مراقبــة التغـيـر في كيميائية الغاز البركاني وزيادة كمية الغــازات والدخان والأبخرة المتصاعدة (الشكل 6-29).
- إجراء دراسات جيولوجية مفصله لمنطقة البركان للتعرف على إمكانية حدوث ثوران بركاني في المسـتقبل ومـن أمثلة ذلك دراسـة مراحل تطور الـبركان واختلاف على التكرار الدوري لثوران البركان ومدة هدوءه أو وجود في الحالة النائمة.
- تتبع نشاط المداخن والينابيع الحارة والنطق الحرارية المائية في منطقة البركان.
- ومـن الدراسـات الحديثة في هـذا المجال اسـتخدام الأقمار الصـناعية حيث يمكن بواسطتها استعمال جهاز قياس الميل Tilt meter الذي يدلنا على تغير ميل التراكيب الجيولوجية نتيجة اندفاع الصـهارة من اسـفل إلى أعلى وحدوث تفلطح في المنطقة التي يبدأ يتكون فيها المخروط البركاني والذي تخرج منه الحمم.

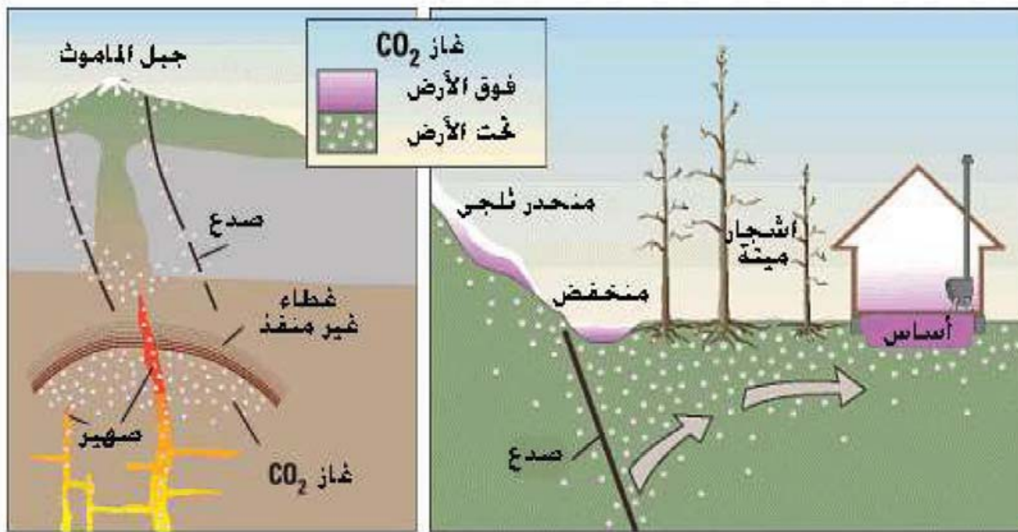


الشكل (6-27): وسائل قصيرة المدى لتوقع البركان قبل حدوثه





الشكل (6-28): أربعة أنواع من السجلات الزلزالية تقوم بقياس قوة حركة الارض عند مستويات مختلفة في القشرة الأرضية لمراقبة النشاط البركاني



الشكل (6-29): استخدام مراقبة التغير في كيميائية الغازات البركانية وزيادتها كوسيلة لتوقع البركان



7-3-6 إجراءات مواجهة مخاطر البراكين Procedures for facing volcanic risks

مـن الصـعوبة تجنب الثـورة البركانية. ولابد من وقوع خسـائر في المناطـق القريبة من البركان النشط. ولكن يجب التقليل من هذه الخسائر بإتباع الآتي:-

- وضع مخطط لمواجهة خطر البركان عند حدوثه في المناطق التي تقذف عادة بالحمم البركانية والحطام المتطاير.
- وضـع قواعـد ولوائح معينة لطريقة اسـتخدام الأرضـ في هذه المناطق كأن تُصـدر الحكومة أمراً بعدم التشييد في هذه المناطق مثلاً أو على الأقل التحكم في استخدامها.
- مراعاة إشارات الإنذار مع الإخلاء الفوري فور سماعها.
- متابعة وسائل الإعلام والالتزام بما يصدر من تعليمات.
- اتخـاذ التدابـير للحمايـة مـن الغـازات البركانيـة السـامة ومعرفة مـدى الحاجة للأكسجين باستخدام الوسائل المعروفة لقياس الأكسجين أو باستخدام الكمامات.
- حماية الجسم والرأس من المقذوفات الدقيقة المتطايرة من فوهة البركان.
- الابتعاد عن الأماكن المنخفضـة التي قد تتعرض للفيضـان بسبب ذوبان الجليد حول فوهة البركان أو التعرض للأمطار الغزيرة في وقت متزامن مع ثورة البركان.
- استخدام النظارات لحماية العيون من الرماد شديد الحرارة.
- العمل على تنظيف أسـقف البيوت من الرماد البركاني ومع تراكم الرماد المتسـاقط وتحذير السكان من انهيار الأسقف الضعيفة التشييد.

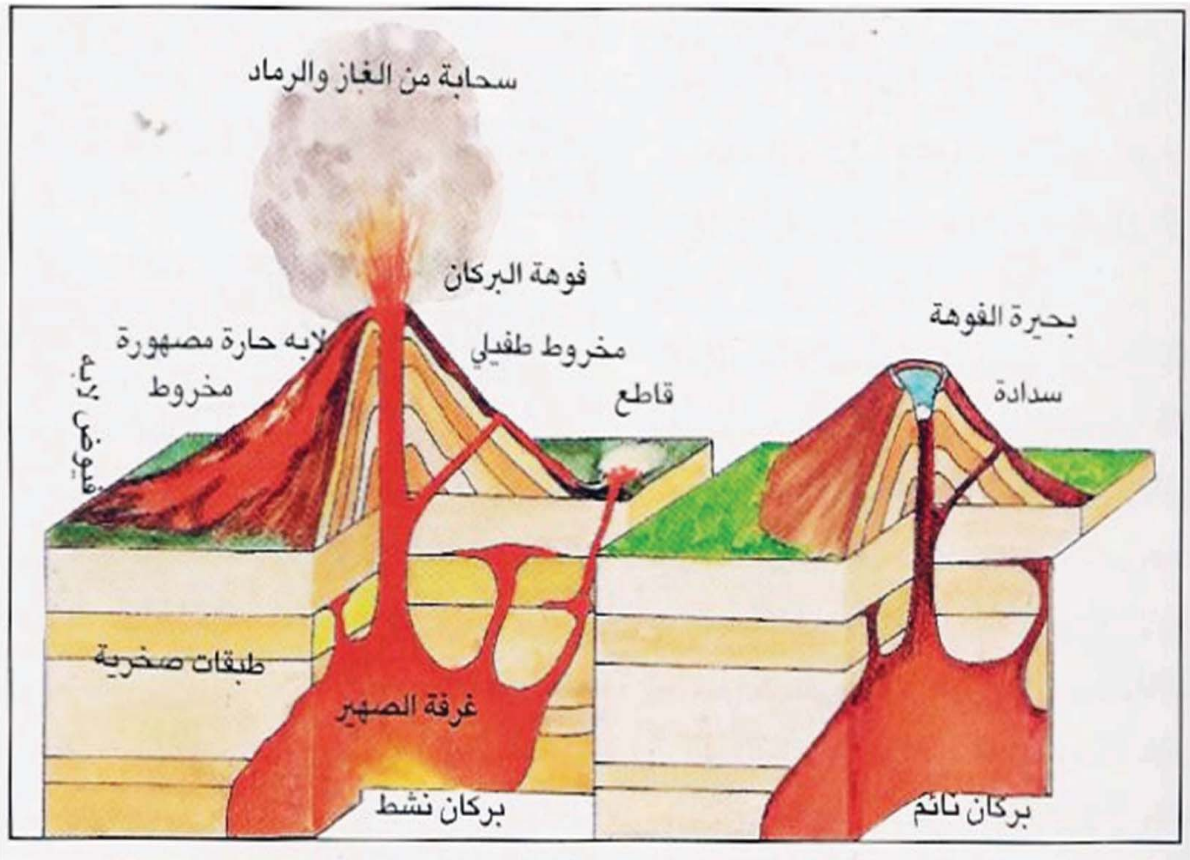
8-3-6 الفوائد والأضـرار الناجمـة عـن الـبراكين

تكمن المخاطر الأساسـية للبراكين في سـريان الحمم وسـحب الدخان والرماد المتطاير والحطـام النـاتج والتـي تعتبر بـكل المعاني أكبر تهديد يسـببه الـبركان (الشـكل 6-30). فالناسـ والممتلكات في الأماكن المجاورة للبراكين مهددة بهـذه المخاطر. وتقع أكثر الأماكن تأثـراً بالبراكين في دائرة نصـف قطرهـا من 80 إلى 150 كيلومتراً. ويسـبب الرماد الناتج عن البركان مشـاكل تنفسـية خطيرة وربما اختناق. بينما يسـبب الرماد والحطام معاً تلف



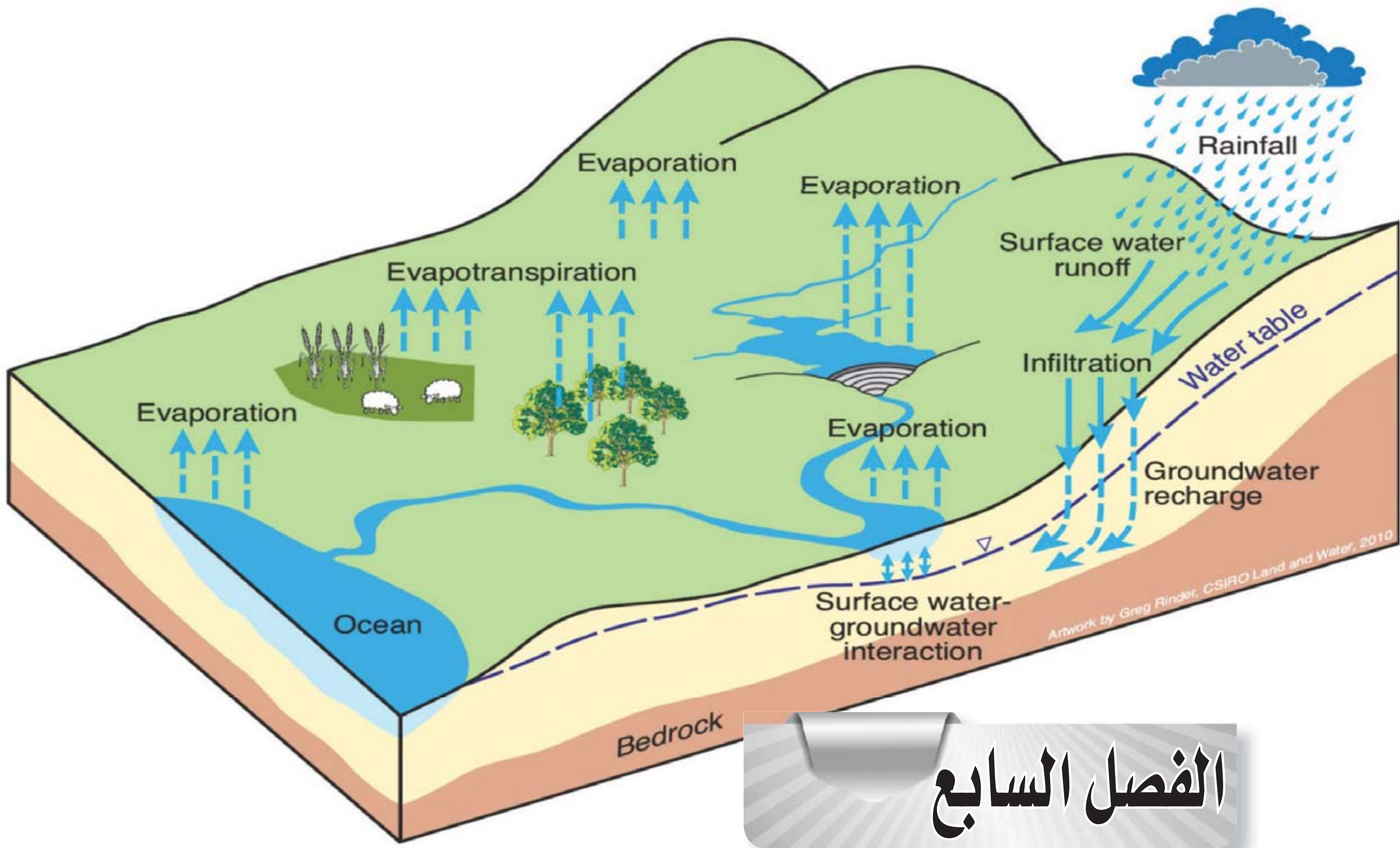
المحاصـيل الزراعية ويقلل الإنتاجية لعدة سـنوات. وإذا كان ناتج البركان كبيراً، فقد تتهدم المباني وتقتل أو تحاصـر الناس والحيوانات. ويرجع مسـتوى تدميره إلى قوته. و بالرغم من الكوارث التي تسـببها البراكين إلى أن لها فوائد و هي تشـكل الجبال والهضـاب والسـهول بالإضـافة الى تخصيب التربة، لذلك نلاحظ ان معظم الناس تتمركز وتبني قراها ومدنها حول البراكين لخصـوبة التربة بفعل بعض المعادن الموجودة في الحمم البركانية. علاوة على ذلك تنشأ العيون الكبريتية على الفوهات الخامدة وتستخدم لأغراض علاجية مثل امراض الروماتيزم والكسـور وغيرها. ومن الظواهر الطبيعية المصـاحبة للبراكين الحديثة الينابيع الحارة والفوارات ينجم عنها الزرنيخ والأنتيمون والنحاس والقصدير بالإضافة إلى الأملاح المعدنية ذات الجدوى الاقتصادية في مجال التعدين. وفي كثير من المناطق البركانية يستخدم البخار الجوفي كمصـدر للطاقة. كما تستخدم الطاقة الحرارية الجوفية لإنتاج الكهرباء في إيطاليـا والمكسـيك ونيوزيلندا والولايات المتحدة. وفي أيسـلندا يُدفئ معظم الناس منازلهم باستعمال المياه المسحوبة من الينابيع البركانية الحارة.





الشكل (6-30): المخاطر الناجمة عن البركان وتتمثل في المقذوفات الفتاتية والغازات الخانقة والانزلاقات والسحب البركانية والأمطار الحمضية





الفصل السابع

علم المياه الجوفية

Hydrogeology

1-7 مقدمة

جيولوجيا المياه هو العلم الذي يختص بدراسة المياه السطحية كالبحار والمحيطات والأنهار وغيرها ثم المياه التحت سطحية أو ما يسمى بالمياه الجوفية Groundwater والتي تعتبر جزء هام في الدورة المائية في الطبيعة (الشكل 7-1). والماء هو أحد أهم الضروريات الأساسية للحياه على الكرة الأرضية وهو مكون أساسي في البيئة الطبيعية كالهواء والصخور...إلخ. كما أنه يلعب دور أساسي في العمليات الجيولوجية الأرضية. ويوجد الماء في الغلاف الجوي وفوق سطح الأرض وتحتها في صورته السائلة مثل المجاري المائية والبحار والمحيطات والمياه الباطنية. يوجد الماء في صورته الصلبة على هيئة مثالج وفي الصورة الغازية على هيئة بخار. والمياه دائمة الحركة وتتغير من صورة إلى أخرى تبعا للظروف الطبيعية السائدة. وهذا

التغير من صـورة إلى أخرى يتم في صـورة دائـرة والتي تعرف بالدورة المائيـة فيتبخر الماء من فوق سـطح الأرض ويتصـاعد إلى الغلاف الهوائي ثم يتكاثف ويتسـاقط على الأرض في عدة صـور كأمطار بأنواعها أو ثلوج بأنواعه حيث ينتهي به المطاف إلى البحار والمحيطات أو يتسـرب جزء منه إلى باطن الأرض، فتحتفظ التربة بجزء منه على شـكل رطوبة في التربة Soil Moisture ويمكـن أن يتعرض للتبخر بصـور شـتى إلى طبقات الجـو العليا ليتكاثف ويسـقط علـى الأرض مرة أخرى وهكذا تسـتمر الدورة المائية دون انقطـاع أو فقد جزء من الماء. كما أن جزء من المياه الجوفية تصـعد إلى الأعلى عن طريق الفتحات الضـيقة (تسمى هذه الظاهرة بالخاصـية الشـعرية) إلى سطح الأرض وتتعرض للتبخر أيضا وجدير بالذكر أن الخاصـية الشعرية من الظواهر الهامة والمميزة للبيئات الصحراوية الجافة. يمثل نطاق الماء الجوي في قمة نطاق التشبع. ونطاق التشبع هو نطاق تحت السطح حيث تكون كل الفراغات مملوءة بالماء. ويوجد فوق نطاق التشبع نطاق تمتلئ فيه الفراغات جزئيا شبه مشبع.



الشكل (7-1): رسم تخطيطي يوضح الدورة المائية في الطبيعة



7-2 مصادر المياه الجوفية Sources of Groundwater

تتكون المياه الجوفية من ثلاث مصادر هي:

1 - الماء الجوي المتصرف من الدورة المائية في الطبيعة

2 - الماء الأحفوري

3 - الماء الصهاري

- الماء الجوي المتصرف من الدورة المائية في الطبيعة

يعتبر الماء هذا النوع هو المصدر الرئيسي للمياه الجوفية وهو الماء الساقط من الغلاف الجوي في صورة أمطار أو ثلوج إلخ... حيث تتسرب معظم هذه المياه إلى تحت السطح عن طريق الرشح أو التسرب إلى أسفل الطبقات تحت السطحية ليكون معظم المياه الجوفية وجزء منه يتبخر ويتصاعد في صورة بخار ماء إلى الغلاف الجوي والجزء الثالث تحمله المجاري المائية السطحية لتصبه في البحار والبحيرات والمحيطات.

- الماء الأحفوري

وهو مصدر ضئيل جدا من مصادر المياه الجوفية ويتكون من المياه المحبوسة أو المحفوظة في الصخور الرسوبية أثناء تكونها وتصلبها في قيعان المحيطات أو البحار، وهي مياه معدنية أو مالحة ولكنها تختلف في تركيبها الكيميائي عن مياه البحار والمحيطات الحالية وذلك لأنها أذابت جزءا كبيرا من أملاح الصخور المحفوظة فيها بطول الزمن. وتوجد هذه المصادر في الأعماق البعيدة من صخور القشرة الأرضية ولا تختلط بالمياه الجوفية إلا تحت ظروف معينة مثل تصدع الصخور لتنطلق من خلالها هذه المياه.

- الماء الصهاري

وهو مصدر ضئيل من مصادر المياه الجوفية وهو الماء المشتق أثناء تبلور وانفصال الصخور النارية حيث تبقى تلك المياه وتدفع في الصخور المحيطة للصخور النارية.



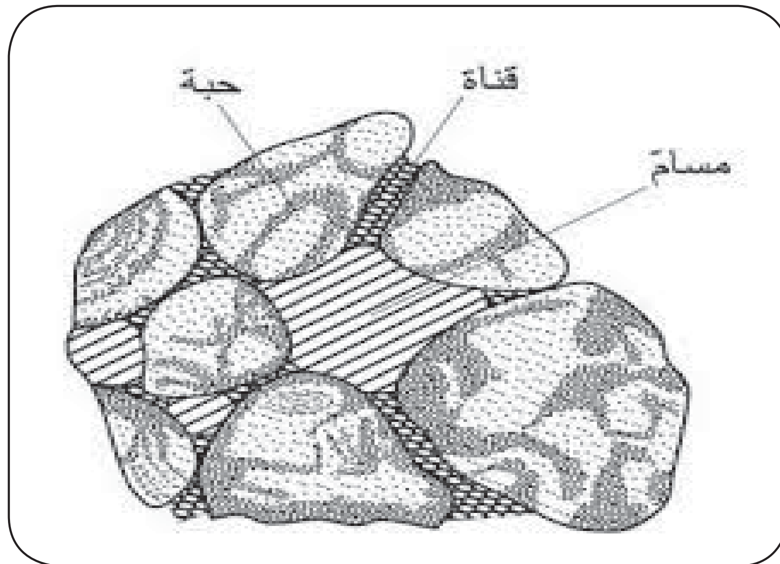
3-7 خزان الماء الجوفي Groundwater Aquifer

يتوقف تخزين المياه الجوفية على عاملين رئيسيين هما مسامية ونفاذية الصخور ويمكن تعريفهم كالتالي:

1 - مسامية الصخور Porosity

تقدر مسامية الصخر أو التربة بحجم الفراغات بالنسبة للحجم الأصلي للصخر (الشكل 7-2) وتختلف مسامية الصخور اختلافا كبيرا معتمدة على عدد من العوامل أهمها:

- حجم حبيبات الصخر
- ترتيب الحبيبات
- درجة فرز الحبيبات
- درجة انضغاط الحبيبات
- أثر التجوية والتصدع

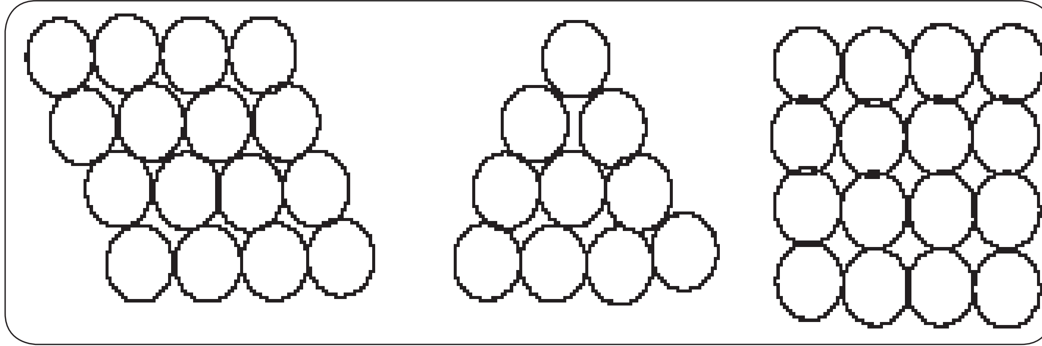


الشكل (7-2): توضيح مفهوم المسامية

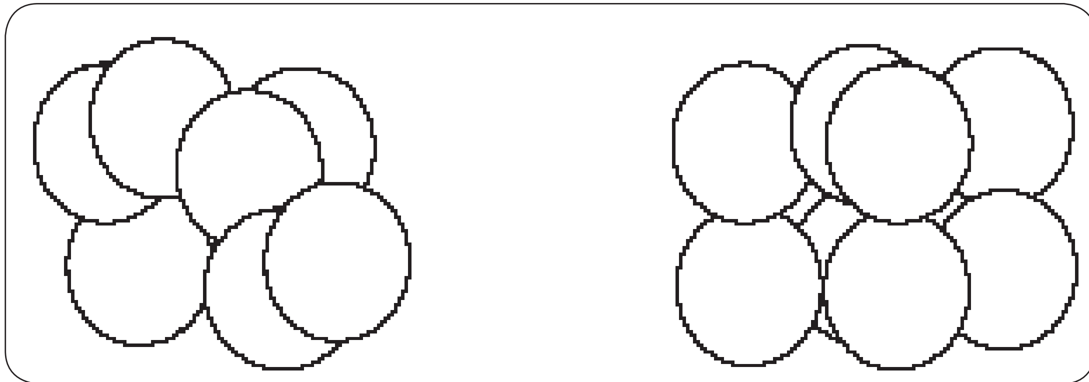


وقد تكون الفراغات أو المسام بين حبيبات الصخر أولية أو ثانوية فالفراغات الأولية تتكون نتيجة ترتيب حبيبات الصخر أثناء تكوينه، أما الفراغات الثانوية فتشمل كل الفراغات والفتحات والشقوق والفواصل وكل الآثار التي تنتج عن تعرض الصخور للحركات الأرضية، فالتصدع مثلا يزيد من كمية الشقوق في الصخر مما يزيد من نفاذيتها كذلك التجوية الكيميائية التي تؤثر في الصخور والتي قد تذيب جزءا من المادة اللاصقة في الصخر أو جزءا من الصخر نفسه تاركا ورآها فراغات وكهوفا كتلك المنتشرة في الصخور الجيرية كالحجر الجيري والطباشير مما يزيد من مسامية الصخور. وكلما قل حجم حبيبات الصخر كلما زادت مساميته وبذلك نجد الصخور الطينية ذات مسامية عالية قد تزيد عن 50% من حجم الصخر الأصلي وذلك على الرغم من أن الصخور الطينية تعتبر غير منفذة.

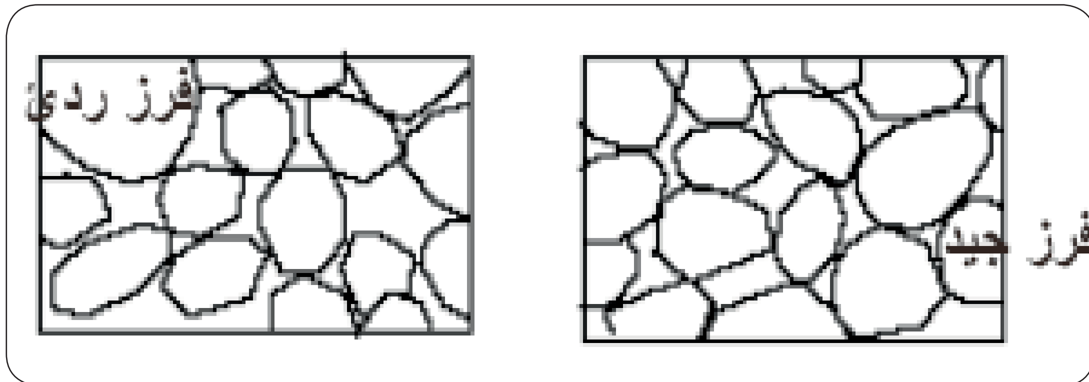
وتجانس حجم حبيبات الصخر أو عدم تجانسها يؤثر تأثيرا شديدا في مسامية الصخر فإذا تكون صخر من حبيبات خشنة مع حبيبات ناعمة أدى ذلك إلى أن تتخلل الحبيبات الناعمة بين الحبيبات الخشنة وتقلل بذلك من حجم الفراغات والمسام أي تقلل من مسامية الصخر (الأشكال 7-3 &7-4 &7-5). والصخور التي تتكون من حبيبات معدنية مستديرة الشكل ومتساوية الحجم تقريبا تكون أكثر مسامية من الصخور المتكونة من حبيبات ذات أشكال مختلفة حيث يؤدي ضغط الصخور على أن تتخلل زوايا الحبيبات وتقلل من مساميته. كما تؤدي درجة انضغاط الصخر إلى التأثير بشدة في درجة مسامية الصخور وكلما زاد انضغاط الصخر كلما تقاربت حبيباته وتلاحمت وقلت المسافات والفراغات فيما بينها وبالتالي تقل المسامية.



الشكل (7-3): يوضح طريقة الرص للحبيبات وتأثيرها على نسبة المسامية فى الصخر



الشكل (7-4): يبن درجة التضاغط للحبيبات وتأثيرها على نسبة المسامية فى الصخر



الشكل (7-5): العلاقة بين المسامية وحجم الحبيبات



تؤثـر التجويـة الفيزيائية والكيميائية على مسـامية الصـخور وبذلـك نجد في كثير من المناطـق أن الطبقات العليا من الصـخور والتي تعرضـت للتجوية بدرجـة أكبر من الأجزاء السفلى من هذه الصخور قد زادت مساميتها وقد تصبح صخورا حاملة للمياه.

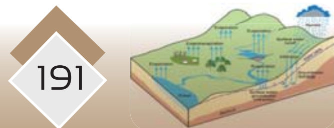
وتؤثر الحركات الأرضـية في مسـامية الصـخور نتيجة تصـدعها وما ينتج عن ذلك من تكوين عدد من الفراغات والفجوات. عموما يكون الصـخر عالي المسـامية إذا زادت نسـبة فراغاته بالنسـبة إلى حجمه عن 20% ويكون متوسـط المسـامية إذا كانت مساميته 5-20% وقليل المسامية إذا قلت مساميته عن 5% .

2- النفاذية Permeability

تعرف النفاذية على أنها قدرة الصـخر على إمرار السـوائل بـين فراغاتها وتعتمد تلك الخاصـية على مدى اتصال الفراغات والمسام الموجودة بالصـخر مع بعضها البعض مكونة ممرات يمكن أن تسير فيها السوائل تحت الضغوط وعلى ذلك يكون الصخر عالي النفاذية إذا اتصـل أكبر عدد من فجواته ومسامه ببعضـها البعض ويكون قليل أو عديم النفاذية إذا كانـت الفراغات منفصـلة عن بعضـها البعض أو تكون ضـيقة إلى حد كبـير بحيث لايمكن للسـوائل أن تمر فيهـا نتيجة قوى الجذب الجزيئي بين السـوائل وحبيبات الصـخر كما هو الحال في الصـخور الطينية. وليس بالضـرورة أن تكون الصخور عالية المسامية ذات نفاذية عالية. فقد يكون الصـخر عالي المسـامية ولكنه متوسـط أو قليل النفاذيـة وذلك بان تكون المسام والفراغات بين حبيبات ومكونات الصخر غير متصلة. فالصخور المكونة من حبيبات ومعادن خشنة مثل الزلط والحصى والتي لا تحتوي على مواد ناعمة يمكن أن تسد الفراغات بين حبيبات الحصى والزلط تكون عالية النفاذية. وعلى العكس من ذلك نجد الصخور ذات الحبيبات الدقيقة مثل الصلصال والغرين تكون قليلة النفاذية.

4-7 حركة المياه الأرضية Groundwater Movement

عندما يسـقط المطر فوق سطح الأرض ينقسم إلى أجزاء ثلاثة، جزء ينساب فوق سطح الأرض كماء جاري قد يتجمع ليغذي الأنهار، وجزء يتبخر عائدا إلى الجو مرة أخرى، وجزء



تمتصه الأرض. وتعتمد عملية الامتصاص الأرضي أساسا على تركيب المواد السطحية، وترتيب موادها، ودرجة رطوبة التربة، ومدة وتركيز سقوط الأمطار. ويمر الماء إلى تحت سطح الأرض بطرق مختلفة أهمها:

1 - الإمتصاص المباشر لماء المطر.
2 - هبوط الماء من مجاريها السطحية عندما تمر فوق مناطق بها صخور مسامية.
3 - انتشار المياه على جانبي المجاري المائية فوق الرواسب المسامية لأوديتها.
4 - تسرب المياه من المحيطات والبحار والبحيرات خلال مواد شواطئها.

وقد شوهد أن كثيرا من مجاري الماء يقل حجمها وقد تختفي تماما عندما تمر فوق مناطق من الصخور الرملية المسامية أو الجيرية ذات الكهوف. وفي كثير من المناطق القاحلة تنحدر المياه من الجبال الصخرية ثم تختفي بسرعة في رواسب الأودية. وهناك أربعة أنواع لحركات المياه تحت سطح الأرض، حركتان منها تحدثان فوق مستوى الماء الأرضي، وحركة تحدث حول هذا المستوى، والرابعة تحدث في المنطقة المشبعة. ولكل هذه الحركات خصائص مميزة، وتحكمها قوانين تختلف تمام الإختلاف عن الأنواع الأخرى، كما أن لكل حركة اسمها المميز كالتالي:

1) الرشح (Seepage)
2) الرفع الشعري (Capillary rise)

وهما الحركتان الأساسيتان فوق سطح الماء الأرضي. الأولى اتجاهها أساسا رأسي من أعلى إلى أسفل. أما الأخرى فيقتصر على حركة الماء إلى أعلى في منطقة الأهداب الشعرية.

3) السريان المضطرب (Turbulent flow)

وهو النوع الثالث من حركات المياه الأرضية. وقد يحدث في الفراغات الكبيرة فوق مستوى الماء الأرضي أو عنده أو تحته، متى وجدت فراغات كبيرة وتوافر وجود مدخل ومخرج للمياه.



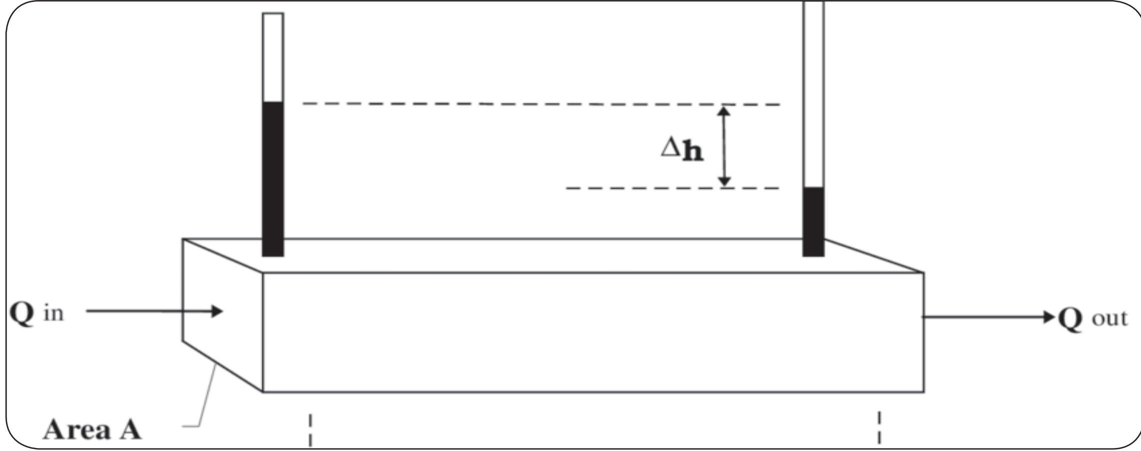
4) التسرب (Percolation)

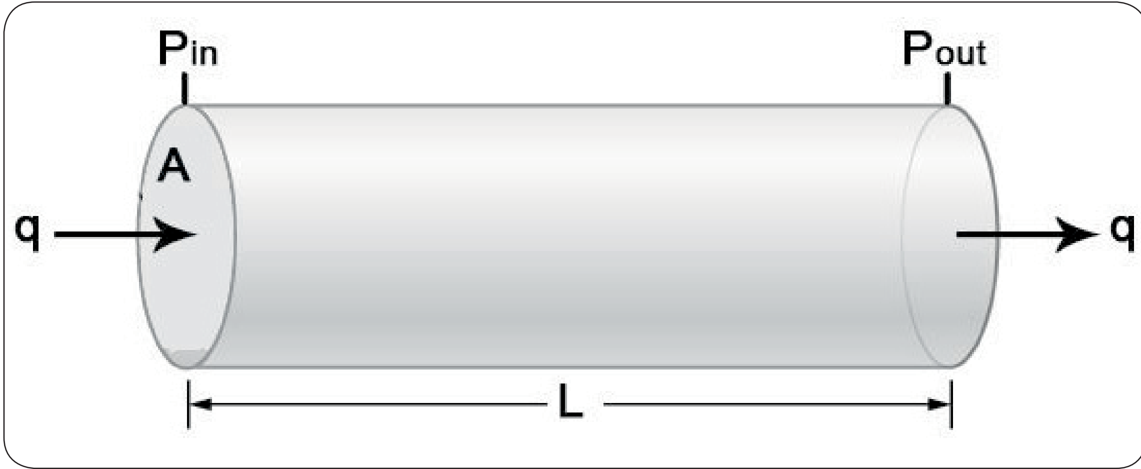
يمثل السريان النوع الرابع من حركات المياه الأرضية، ولا يحدث إلا في منطقة التشبع في وجود فراغات متصلة داخليا. وتختلف مياه الأرض والمياه السطحية في طبيعة سريانها. ففي حالة المياه السطحية يختفي الميل البسيط في مستوى الماء لإحداث حركة سريعة فيه، في حين نجد أن في المياه الأرضية تكون المقاومة لحركة المياه كبيرة حتى أنه للحصول على سرعة ولو بطيئة يلزم أن يكون ميل مستوى الماء الأرضي كبيرا. وتحكم العلاقة بين سرعة سريان المياه الأرضية ونفاذية الأجسام الحاملة لها وميل مستوى الماء الأرضي قوانين كثيرة أهمها قانون دارسي والذي يحكم العلاقة بين سرعة المياه ونفاذية الأجسام الحاملة لها وميل ومستوى الماء الأرضي للمياه الحرة. ويستخدم هذا القانون أساسا في حساب حصيلة المياه التي تتحرك بانحدار مائي معلوم، حيث أجرى العالم دارسي سلسلة من التجارب على المياه في الرمال عام 1856 أكد بها العلاقة بين سرعة تدفق المياه واللزوجة وفرق الضغط والنفاذية ومساحة المقطع في الصخور المنفذة ذات شكل وأبعاد محددة كما بالشكل (7-6) والحاملة للمياه. تنص هذه المعادلة في شكلها البسيط في الاتجاه ذات البعد الواحد (one dimensional direction) التالي:

$$q = K \frac{A}{\mu} \frac{dP}{dL} \qquad (7 - 1)$$

حيث q السرعة الظاهرية لتدفق السائل وتقاس بالوحدة (cm/s)، K تمثل النفاذية للصخر المنفذ وتقاس بالوحدة (Darcy)، μ لزوجة السائل المتدفق وتقاس بالوحدة (centipoise)، أما dP/dL تعبر عن معدل تغير الضغط في اتجاه التدفق ويقاس بالوحدة (atm/cm)، حيث L طول التدفق ووحدتها (cm)، A مساحة المقطع وتقاس بالوحدة (cm^2).







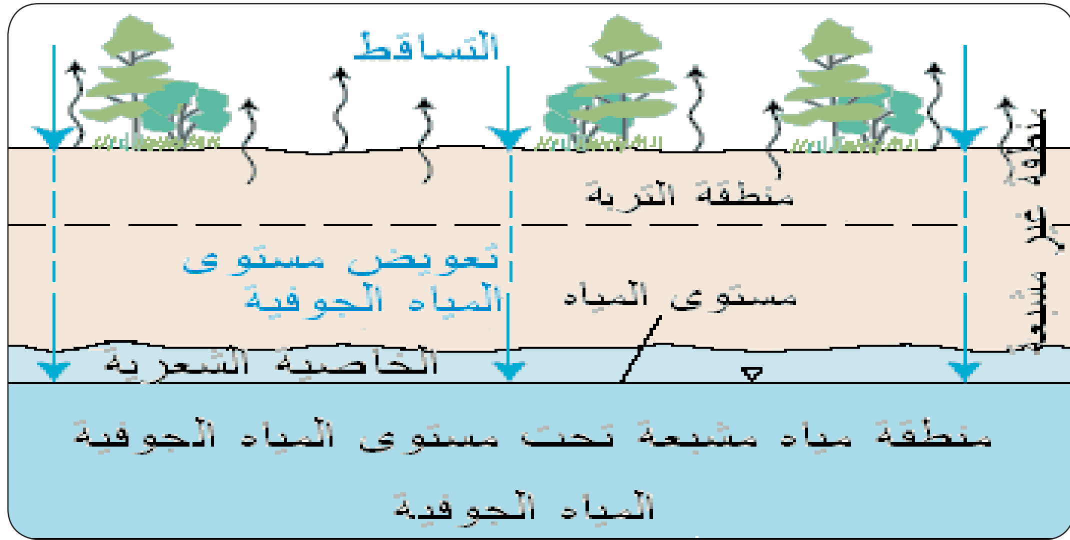
الشكل (7-6): يبين نظام التدفق الخطي في عينة أسطوانية

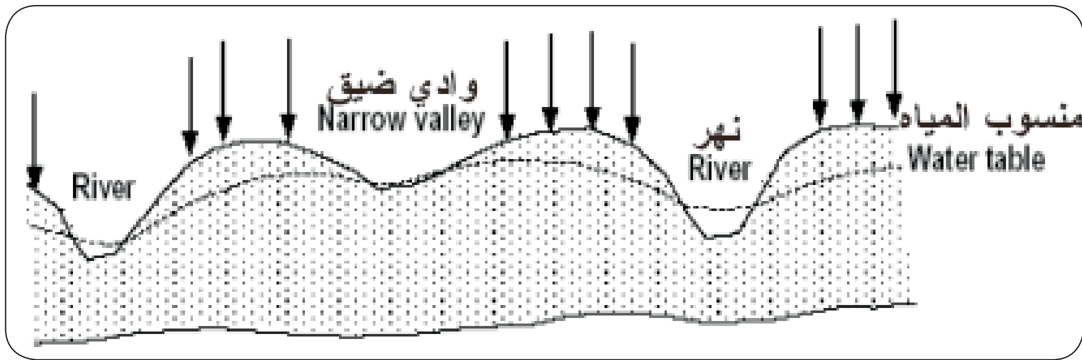
7-5 منسوب المياه الجوفية Water Table

يعرف منسوب الماء الجوفي بأنه السطح العلوي لمنطقة التشبع في منطقة ما والذي قد يتواجد على أعماق مختلفة متأثرا بعوامل عدة منها طبوغرافية المنطقة فيرتفع في المناطق المرتفعة وينحدر في المنحدرات (الشكل 7-7). وهو متأرجح بين الارتفاع والانخفاض تبعا لحالات التصريف التي تتعرض لها منطقة التشبع فيرتفع عادة بعد هطول الأمطار وينخفض في فترات الجفاف. ويمكن قياس هذا المنسوب بطرق غير مباشرة مثل الطرق



الجيوفيزيائية أو طرق مباشـرة عن طريق الآبار أو ثقوب الحفر حيث يكون منسـوب الماء في البئر ممثلا لمنسـوب المياه الجوفية في المنطقة المحيطة بالبئر. وفي حالة القياسـات الدورية لمنسـوب المياه يمكن استخدام شـريط مدرج ذو ثقل في أسفله أما في حالة التسجيل المستمر يفضـل اسـتخدام سـجلات ذات عوامات ترتفع وتنخفض مع ارتفاع وانخفاض مستوى الماء في البئر ويتم التسـجيل آليا على شـريط أو لوحة خاصـة مثبتة عند فتحة البئر بحيث يسهل ملاحظتها وقراءتها باستمرار.





الشكل (7-7): يبين منسوب المياه الجوفية ومدى تأثره بطوبغرافية المنطقة

6-7 خزانات المياه الجوفية Aquifers

خزائن الماء الجوفي هي أجسام صخرية أو رواسب مشبعة بالماء يتحرك خلالها الماء الجوفي بيسر، وتعطى كميات اقتصادية من الماء. ويشبه الخزان قطعة الإسفنج المشبعة بالماء. وبناءا على ذلك فإن خزانات الماء الجوفي يجب أن تكون مسامية ومنفذة معا. وتشمل الخزانات الجيدة الحجر الرملي والرصيص والحجر الجيري ذات الشقوق والحصى والصخور النارية ذات الشقوق.

وتوجد أنواع من خزانات الماء الجوفي (الشكل 7-8):

1 - خزان الماء الجوفي المحصور Confined Aquifer

وهي مكامن تتكون في طبقات نفاذة يحدها من أسفل ومن أعلى طبقات مصمتة غير منفذة بحيث لا يسمح بمرور المياه إلى أسفل أو إلى أعلى. وعادة تكون تلك التكاوين مائلة أو على شكل طيات ويتم تغذية هذه الخزانات بالمياه الجوفية عن طريق جزء من الطبقة المنفذة للماء يكون ظاهرا على ارتفاع كاف بحيث تسير منه المياه إلى بقية أجزاء الطبقة. وجدير بالذكر أن معظم العيون والينابيع خصوصا الينابيع الارتوازية تصاحب هذه الخزانات.

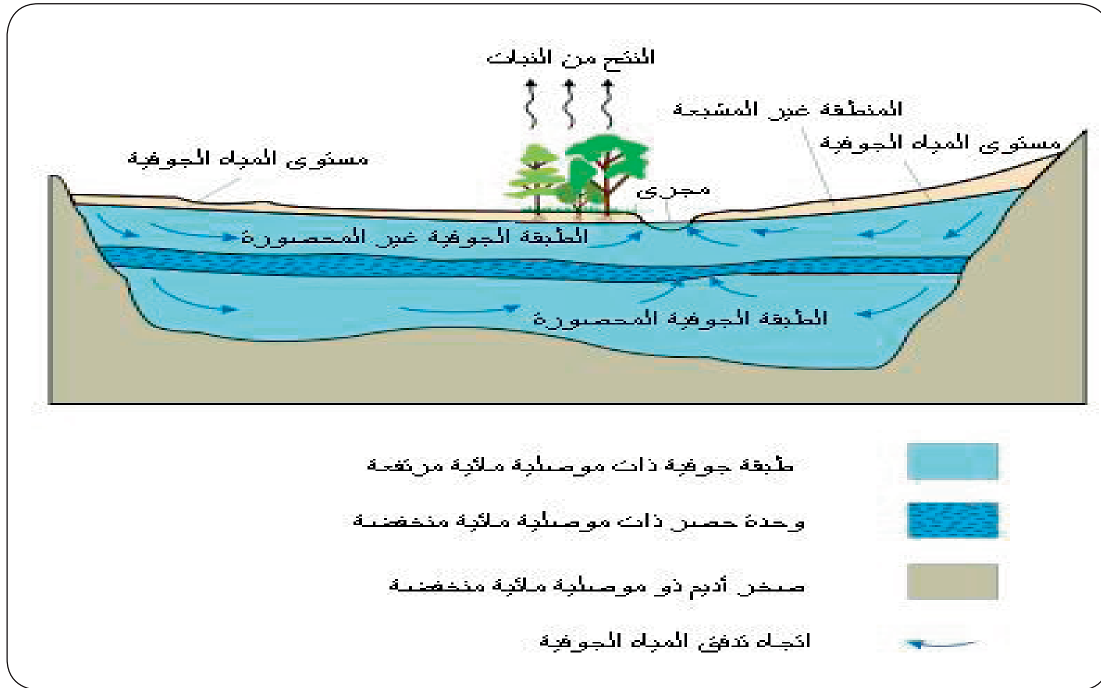
2 - خزان الماء الجوفي الحر Unconfined Aquifer

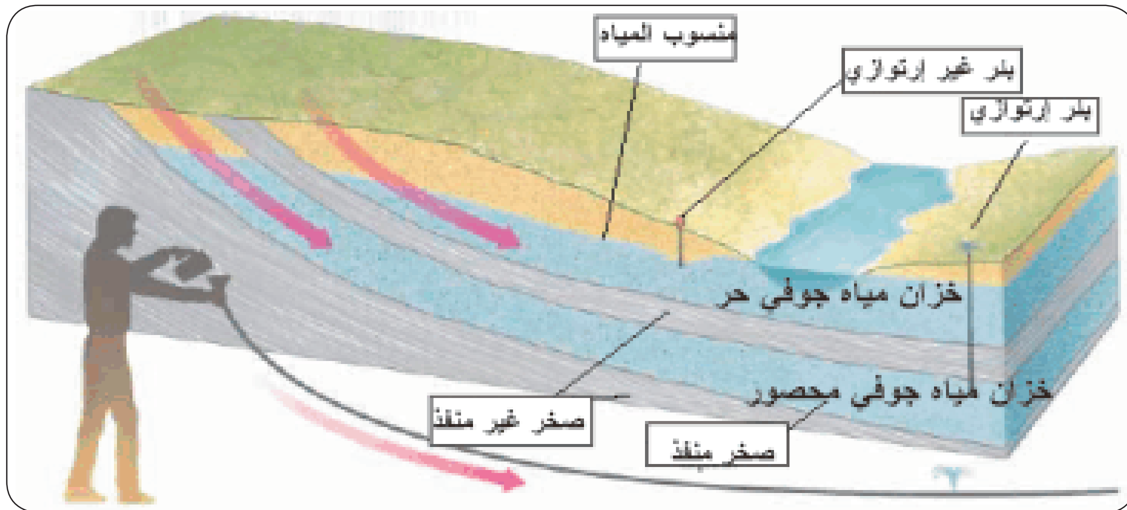
وتتكون من طبقات منفذة وحاملة للماء ويحدها من أسفل صخور غير منفذة. وتعتبر هذه الخزانات من أكثر الخزانات المائية الباطنة انتشارا.

3 - خزان الماء الجوفي الجاثم Perched Groundwater

وهي تمثل حالات خاصة من وجود المياه الباطنية وفيها تكون الأجسام المائية عدسية الشكل وهي أجسام صغيرة نسبيا وتكون فيها الطبقات المانعة محدودة المساحة وعادة تقع في مستوى أعلى من مستوى المياه الجوفية الرئيسية.







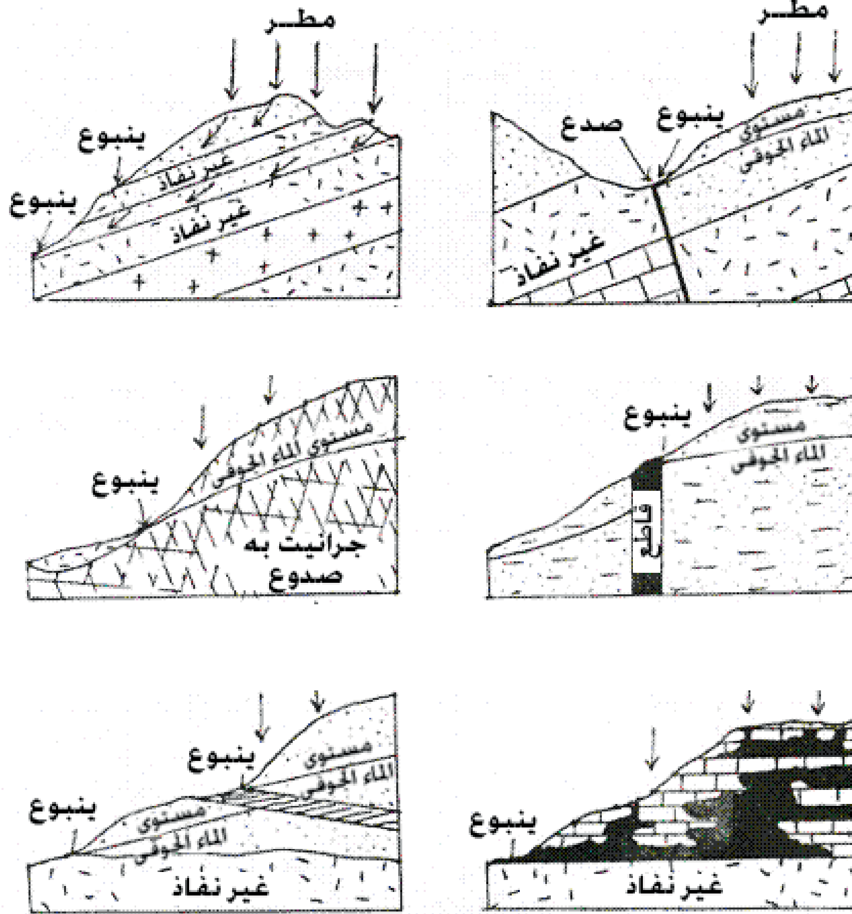
الشكل (7-8): يبين خزانات المياه الجوفية



7-7 الينابيع Springs

أحيانـا تظهـر المياه الأرضـية على شـكل ينابيـع مختلفة تبعـا للظـروف الطبوغرافية والجيولوجية المناسبة لظهور هذه الينابيع (الشكل 7-9) وأهم أنواعها:

1 - ينابيع الطبقات
2 - ينابيع الوديان
3 - ينابيع الفوالق
4 - الينابيع الارتوازية



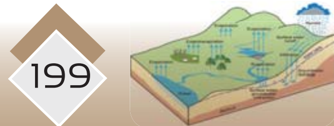
الشكل (7-9): يبين ينابيع مختلفة وارتباطها بالظروف الجيولوجية والطبوغرافية
(after Freeze and Cherry, 1979)



وتظهر ينابيع الطبقات إذا لم تتمكن المياه الأرضية من النفاذ إلى منطقة التشبع الدائم نتيجة وجود طبقة غير منفذة أسفل الطبقة الحاملة للمياه، وينتج عن ذلك ظهور المياه على هيئة ينبوع أو ينابيع في المستوى الذي تلتقي فيه الطبقتان. تظهر ينابيع الوديان موسميا نتيجة لارتفاع منسوب المياه الأرضية بزيادة الأمطار، ويسبب الارتفاع في منسوب المياه الأرضية ظهور المياه في الوديان الجافة. عندما تتسبب الفوالق في وجود طبقة غير منفذة للمياه أمام طبقة حاملة للمياه فإن ذلك يؤدي إلى تدفق المياه من مستوى الفالق ليكون ينابيع الفوالق. أما الينابيع الارتوازية فيظهر هذا النوع إذا كانت الطبقة الحاملة للمياه مغطاة بطبقة غير منفذة. مثل هذه الينابيع الارتوازية يساعد على ظهورها وجود أي كسر في صخور الطبقة غير المنفذة فتندفع المياه طبيعيا تحت تأثير فرق الضغط عند فوهة البئر عن منسوب المياه الأرضية.

8-7 الآبار Wells

يعتبر حفر البئر من أنسب الطرق للحصول على كميات مناسبة من المياه الأرضية. ويعرف البئر الذي لا يزيد عمقه عن ٣٠ متر بأنه بئر ضحل وهو يبطن عادة بالطوب أو الخرسانة أو أي مادة مناسبة. ويراعى عند تبطين البئر أن يكون الجزء الذي يعلو الطبقة الحاملة للمياه مبطنا بمادة غير منفذة للمياه وذلك لتجنب تلوث مياه البئر من الطبقات السطحية التي قد تكون محملة ببعض المياه الغير نقية. وتعتبر الآبار الضحلة مناسبة للحصول على كميات محدودة من المياه، تكفي عادة لمنزل واحد أو لمزرعة صغيرة. وأهم عيوب هذه الآبار أنها تتأثر باختلاف منسوب المياه الأرضية، كما أنها تتعرض للتلوث بالمياه السطحية. لذلك يراعى عند اختيار مواقع حفر مثل هذه الآبار أن تكون في الوديان، وإذا لوحظ وجود أي تلوث في مياه البئر وجب تعميقه مسافة كافية للوصول إلى المياه النقية وذلك لأن مرور المياه خلال الطبقات الصخرية ينتج لها نوع من الترشيح الطبيعي ويجعلها أكثر نقاوة. وينتج عن مرور المياه في بعض الطبقات مثل الحجر الجيري عسرا مؤقتا أو دائما نتيجة إذابة ببيكربونات أو كبريتات أو كلوريد الكالسيوم أو الماغنسيوم فتسبب البيكربونات عسرا مؤقتا، وذلك لأنه يزول بغليان المياه. أما الكبريتات والكلوريدات فتسبب عسرا دائما



لا يزول إلا بعد معالجتها بالكيماويات مثل إضافة كربونات الصوديوم. ويعتبر اختيار مواقع البئر من أهم العوامل التي تؤثر في مقدار ونوع المياه الأرضية، لذلك يجب دراسة جيولوجية المنطقة المراد حفر آبار بها دراسة وافية قبل اختيار الموقع المناسب لحفر البئر بها.

9-7 خصائص المياه الأرضية Groundwater Properties

أهم مصادر الماء على الأرض هي الأمطار أو الجليد أو التكثيف من الجو، فالماء في الجو على هيئة بخار يتكاثف إلى نقط من الماء تسقط فوق سطح الأرض مطرا أو ثلجا بفعل الجاذبية، حيث تتكون تبعا لذلك مياه الأرض السطحية منها وتحت السطحية. وكل المياه على الأرض تسمى مياه طبيعية سواء كانت سطحية أو أرضية أو سماوية.

والمياه النقيه كيماويا لاوجود لها في الطبيعة. وصلاحية المياه للأغراض المختلفة يحددها نوع الشوائب التي يحتويها. وعلى ذلك فدراسة المياه يجب أن نتناول أصلها ونوعها والشوائب التي تلتقطها خلال رحلاتها في الجو وفوق سطح الأرض. وخلال هذه الرحلات توجد المياه في هيئات مختلفة. فقد تكون جسما صلبا أو غازا أو سائلا. كما أنها قد تكون حمضية أو قاعدية، ملوثة أو نقية، حارة أو باردة. كل هذه التغيرات طبيعية كانت أو كيماوية تقرر صلاحية المياه للأغراض المختلفة.

هناك معايير مختلفة لاختبار المياه السطحية والأرضية اختبارا فيزيائيا وكيميائيا وبكتريولوجيا. وهذه المعايير لا تختلف كثيرا في جوهرها بعضها عن بعض. من بين المعايير الكيمائية هي اختبار نسبة الأملاح الذائبة. تقدر الأملاح الذائبة في الماء عادة بتبخير حجم مناسب من الماء، ثم وزن الأملاح الناتجة بعد تجفيفها. وهناك طريقة أخرى أبسط كثيرا تعتمد على قياس التوصيل الكهربي للمياه بقطبين وجهاز خاص، ثم تحول قراءة الجهاز إلى مايقاربها من أجزاء في المليون من الأملاح الذائبة وذلك من خلال جداول أو منحنيات خاصة. وتصنف المياه بحسب كمية الأملاح الذائبة فيها ومناسبتها لحياة الإنسان كما هو موضح بالجدول (7-1).



الجدول (7-1) : كمية الأملاح الذائبة ومدى مناسبتها لحياة الإنسان (مصطفى سليمان، 1985)

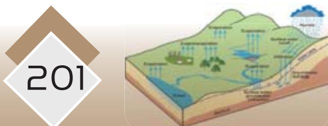
الأملاح الذائبة	الكمية بالأجزاء في المليون	الاستخدام
قليلة	أقل من 150	تستخدم في الشرب والطهي إذا كانت كمية الحديد أقل من ١,٥ جزء من المليون
متوسطة	(500-150)	تستخدم في الشرب والطهي إذا كانت كمية الحديد أقل من ١,٥ من الجزء
كثيرة	2000-500	يمكن استخدامها
كثيرة جدا	أكثر من 2000	غير صالحة

10-7 ملوثات المياه الأرضية Groundwater Contaminations

تلوث المياه هو مفهوم يقصد به دخول عناصر غريبة على المياه فتغير من تركيبها ومن خصائصها الفيزيائية وربما الكيميائية وتجعلها غير صالحة للاستخدام الآدمي. وتتأثر نوعية المياه الأرضية نتيجة عوامل طبيعية أو عوامل مستحدثه بفعل الإنسان والتقدم الصناعي والزراعي والتكنولوجي المتزايد.

من المعلوم كما سبق أن المصدر الرئيسي للمياه الأرضية هو مياه الأمطار التى تذيب فى طريقها إلى خزان المياه الأرضيه بعضا مما يقابلها من أملاح مكونه للصخور التى تسقط عليها أو تسرى بها أثناء رحلتها فى باطن الأرض حتى تستقر فى مكمنها، بل وتذيب أيضا الأملاح القابلة للذوبان الموجودة بالمكمن التى استقرت به ليضاف بذلك كمية من الأملاح المختلفة إلى المياه الأرضية فتغير من خصائصها الفيزيائية الكيميائية وتجعلها فى بعض الأحيان غير قابله للاستخدامات الآدمية خاصة إذا زادت نسبة هذه الأملاح عن 1000 جزء فى المليون.

ولمياه البحار أيضا أو المحيطات التى تصرف فيها بعض خزانات المياه الأرضيه أثرا كبيرا على تغيير نوعية المياه الأرضية بتلك الخزانات المطلة عليها، حيث يتعاظم دور تداخل المياه المالحة لتغزو المياه العذبة فى تلك الخزانات وتجعلها غير صالحه للاستخدام، ولكن هذا



الأثر الطبيعى لتداخل مياه البحر يقل كلما بعدنا عن البحر ليزداد سمك المياه العذب التى تعلو الماء المالح. كما يؤدى السحب الغير مقنن للمياه العذبة من الآبار القريبه من البحار فى الإسراع بتداخل المياه المالحة على الخزان فتقضى عليه.

وتتلخص العوامل المستحدثة الملوثة للمياه الأرضية في الأنشطة الآدمية والصناعية المختلفة التى يقوم بها الإنسان على سطح الأرض والتي تؤدى إلى إضافة ملوثات أخرى للمياه الأرضية قد تكون أشد خطرا وفتكا بصحة الإنسان من الملوثات الطبيعية لها. ومن هذه الأنشطة الاستخدام المفرط للأسمدة الصناعية والمبيدات الحشرية بالأراضي الزراعية، وعادات الصرف الصحي السيئة المنتشرة بالمناطق الريفية مثل الصرف بالأرض وفى المصارف التى لا يوجد لها محطات معالجه، إلقاء نفايات المصانع فى المجارى المائية المطلة عليها دون معالجه، والأشد خطر دفن النفايات النووية تحت سطح الأرض دون دراسة شاملة لحركة المياه الأرضية تحت السطح وتأثيرها المتوقع إذا ما وصلت ملوثات تلك النفايات إلى خزانات المياه الأرضية. وعلى العموم فإن درجة تأثر المياه الأرضية بمصادر التلوث السطحية تعتمد على عوامل عدة أهمها نوعية الطبقات السطحية، عمق الماء الأرضي، اتجاه حركة المياه، طبيعة صخور الخزان، الضغوط الهيدروليكية بالخزان، والسحب الغير مقنن للمياه. ولحل مشكلة تلوث الماء الجوفي يلزم بداية منع تلوث الماء الجوفي عن طريق منع ملوثات الهواء وملوثات التربة وملوثات الصرف الصحي وملوثات أماكن دفن المخلفات وغيرها من الوصول للمياه الجوفية. ومن الممكن الحد من مشكلة تلوث الماء الجوفي عن طريق:

- انتقاء مواضع دفن المخلفات حيث تقام فوق طبقات غير منفذة لعزل ملوثات الزبالة من الوصول إلى خزائن الماء الجوفي. وتختار المواقع بحيث تكون عالية عن مستوى الماء الجوفي أو في مناطق ضخ وليست مناطق تغذية مع تبطين قاعدة الموقع بالطين غير المنفذ وعزلها عن الماء بواسطة غطاء غير منفذ.
- التقليل من السحب الشديد الجائر باستخدام مولدات الرفع القوية حتى يمر الماء ببطء مما يعطي وقتا كافيا لتنقية الماء.



- عدم تلويث الأنهار والبحيرات لارتباط مستوى الماء الجوفي بها.
- تنظيف وطلاء صهاريج محطات الصرف الصحي واستخدام كشافات خاصة لمعرفة أماكن تسرب مياه الصرف الصحي.
- الاهتمام بدور العمليات الطبيعية في تنقية مياه الصرف الصحي حيث تتحلل ملوثات الماء وتسحب المواد التي تمكث في قيعان صهاريج محطات الصرف الصحي كل فترة وتمرر المياه في التربة الرملية عبر قنوات مفروشة بالحصى، حيث تتحلل المواد العضوية إلى مواد غير ضارة. ومن المهم أن تمر تلك المياه بسرعة بطيئة وفي حالة مرورها في تربة رملية يمكن ترشيح الماء من مخلفات الإنسان خلال مروره بها لمسافة 150-100 مترا. أما في حالة مرور مياه الصرف الصحي خلال الشقوق في الصخور الصلبة مثل الجرانيت أو الفجوات المتصلة في الحجر الجيري فستظل المياه مختلطة بالملوثات على امتداد مسافات طويلة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي.
- إنشاء محطات شبكات الصرف الصحي.



الفصل الثامن

جيولوجيـــا النفـــط

Petroleum Geology

1-8 مقدمة

النفط الخام بمسـميـاته المختلفة النفط أو الزيت أو الذهب الأسـود هو سائل كثيف قابل للاحتراق وهو عبارة عن هيدروكربون، بمعنى أنه يتكون أساساً من ذرات كربون وهيدروجين، كمـا يحمـل في بعض الأحيان عنصـر الكبريت ضـمن مكوناته. وتتدرج ألوانه من الأخضـر الغامق إلى الأسـود، وكذلك كثافتـه من خفيف كالبنزين إلى ثقيل كالقطران وذلك حسـب أصـل مكوناته ودرجة نضـجه. غالباً ما يجتمع الغاز الطبيعـي (كالميثان) والنفط الخام في نفس المكمن، حيث يتكون في نفس الظروف التي يتشـكل فيها النفط غير أنّ الاختلاف يكمن في اختلاف درجة حرارة التشكل. يعد النفط مصدرا غير متجدّد للطاقة، ويُصنَّف إلى جانب الفحم ضمن الوقود الأحفوري لكونه تكوّن من بقايا عضوية لأحافير أحياء دقيقة ونباتات في



عصورٍ جيولوجية سالفة خلال الترسب الجيولوجي الذي إستغرق ملايين السنين. المصدر الأساسي لتشكل النفط هو المادة العضوية المتكونة من بقايا حيوانية ونباتية ميتة، عامة ما تكون بحرية، حُفظت في ظروفٍ خاصة، حيث تُدفن المادة العضوية تحت ألاف الأمتار من الطبقات الرسوبية من الطمي والرمل أو الطين. تحدث هجرته ثم تجمّعه بعد تشكله في مكامن ذات مسامية ونفاذية، ويتطلب ذلك توفر عناصر تسمى عناصر النظام النفطي المكوّنة بشكل رئيس من صخور مصدر غالبًا ما تكون طفل أو طين غنية بالمواد العضوية، وعمليات طبخ ليتكوّن النفط والغاز، ثم سبل هجرة عبر صخور ذات نفاذية أو صدوع أو شقوق، وبعد اعتراضه بواسطة طبقات غير منفّذة وهي صخور حابسة يظل حبيسًا تحتها، ويتجمّع في صخور تسمى بصخور المكمن ذات المسامية والنفاذية حيث ينفصل الغاز عن النفط، الغاز في الأعلى ثم النفط تحته ثم الماء في الأسفل، ولا تتم عملية هذا التجمّع إلا بوجود عنصر مهم وهو المصائد وهي متنوعة منها الطباقية والبنائية. الشكل المرفق يلخّص هذا النظام بعناصره الرئيسة ووضعها بالنسبة تحت سطح الأرض.

2-8 نشأة النفط Origin of Petroleum

هناك ثلاث نظريات تفسر أصل ونشأة النفط، وهي: النظرية البيولوجية أو العضوية والنظرية الكيميائية والنظرية المعدنية.

- النظرية البيولوجية أو العضوية

تفترض النظرية الخاصة بالأصل البيولوجي أو العضوي أن النفط قد تكون من بقايا بعض الكائنات الحية الحيوانية والنباتية، وبخاصة الأحياء البحرية الدقيقة، التي تجمعت مع بقايا كائنات أخرى بعد موتها في قيعان البحار والمحيطات، واختلطت بالرواسب الطينية والغرينية والرواسب الأخرى، وعند احتواء هذه الصخور على كميات كبيرة من المواد العضوية، وبترسيب طبقات سميكة فوقها وبتعرضها لضغوط هائلة وارتفاع حرارتها إلى درجات عالية جداً بفعل تحركات القشرة الأرضية وتأثير حرارة باطن الأرض، وبسبب النشاط الحيوي البكتيري والتفاعلات الكيميائية والتغيّرات الفيزيائية، تحصل عمليات



طبخ للمواد العضـوية ينتج عنها اتحاد الكربون بالهيدروجين وبعض العناصر الأخرى مكوّنة مواد هيدروكربونية مكوّنة النفط والغاز، تسمى تلك الصخور عندئذ بصخور المصدر.

تُعد نظرية النشأة العضوية للنفط هي الأكثر قبولا بين العلماء المعاصرين لأسباب عديدة:

أولًا: اكتشـاف الغالبيـة العظمى من حقول النفط في الصـخور الرسـوبية.. أما النفط الموجود في بعض الصـخور النارية أو المتحولة فإن مصـدره هو الهجرة من صـخور رسـوبية مجاورة.

ثانيًا: أن النفط المسـتخرج من باطن الأرض يحتوي عادة على بعض المركبات العضوية التي يدخل في تركيبها النيتروجين والفوسـفور والكبريت، وهي عناصر لا توجد في كربيدات الفلزات بل توجد في خلايا الكائنات الحية فقط، سواء كانت حيوانية أم نباتية.

ثالثًا: تميز النفط بخاصـية النشـاط الضـوئي التي تكاد تنفرد بها المواد العضوية. ولما كانت المواد العضـوية المترسـبة هي المصـدر الأساسـي الذي نشـأ منه النفط، فإن صـفاته الطبيعية وخصائصه الكيميائية تختلف باختلاف طبيعة الكائنات الحية، ومكونات الصخور الرسوبية الحاوية له.

- النظرية المعدنية (نظرية ماندليف)

تفترض هذه النظرية في تكوين النفط على تكوّن نتيجة لتعرض بعض رواسـب كربيدات الفلـزات الموجودة في باطـن الأرض لبخار الماء، ذلك لأن كربيد الكالسـيوم يتفاعل مع الماء مكونًا الهيدروكربون غير المشبع "الأسيتلين"، وأول من وضع هذه النظرية هو العالم الروسي ماندليـف، ومـا جعل هذه النظرية غير مقبولة هو أن الندرة الشـديدة لرواسـب الكربيدات يصـعب معها تصـور أنها كانت موجودة بكميات هائلة وكافية لتكوين ما اسـتخرج فعلا من النفـط وما لا يـزال موجوداً في باطن الأرض. وجيولوجيا فمثل هـذه الكربيدات إن وجدت فلابـد أن تكون في ثنايا الصـخور البركانية بدليل خروج غـازات هيدروكربونية من فوهات البراكين، بينما لا يوجد النفط إلا في طبقات الصخور الرسوبية.



- النظرية الكيميائية

تفترض النظرية الكيميائية أن بعض الهيدروكربونات قد تكونت في الزمن القديم باتحاد الهيدروجين بالكربون، ثم انتشرت في باطن الأرض، واختزنت فيها، وتحولت إلى النفط، الذي بدأ يتسرب إلى سطح الأرض عن طريق بعض الشقوق والصدوع في القشرة الأرضية، أو عن طريق حفر آبار الاستكشاف أو المياه، وظهرت الهيدروكربونات على هيئة غازات طبيعية ونفط، أو بقيت في بعض الصخور المسامية. وما يدعم هذه النظرية هو وجود احتياطيات هائلة من النفط في مناطق صغيرة جداً في مساحتها كالخليج العربي، والذي يحتوي على ثلثي الاحتياطي المؤكد للنفط العالمي، ولا يعقل أن تكون هذه المساحة مكان تجمع بالغ الضخامة من بقايا الكائنات الحية.

هذه النظرية تعني أن هناك احتمالات كبيرة للغاز الطبيعي والنفط في أماكن كثيرة من الأرض، وأن باطن الأرض يحتوي على مصدر لا ينضب من الهيدروكربونات المكونة للنفط. ويشك بعض العلماء من الولايات المتحدة والسويد وروسيا بصدق هذه النظرية، إذ جرى الحفر على أعماق تناهز خمسة آلاف متر أو أكثر، بل إن عمق بعض الآبار الاستكشافية في روسيا وصل إلى 15 كيلومتر في الدروع الجرانيتية لشبه جزيرة "كولا" شمال الدائرة القطبية.

3-8 مكونات النفط وأماكن وجوده في العالم

تقع المصادر الرئيسية للنفط الخام في منطقة الشرق الأوسط (السعودية والعراق والكويت والبحرين وعمان وإيران) وفى أمريكا الشمالية (ولايات بنسلفانيا وكاليفورنيا وتكساس وكندا) وفي الاتحاد السوفيتي (القوقاز وباكو) وفي أمريكا الجنوبية (فنزويلا والأرجنتين وكولومبيا) وفي أفريقيا (ليبيا والجزائر ونيجيريا) وجنوب شرق آسيا (اندونيسيا) وهنالك بعض الدول الأخرى ولكن كميات الإنتاج فيها قليلة. يختلف تركيب النفط الخام حسب مناطق الإنتاج فالنفط الأمريكي يتكون بشكل رئيسي من الهيدروكربونات ذات السلسلة المستقيمة بينما يتكون النفط الروسي من المركبات الحلقية ذات الصيغة C_nH_{2n}



(النافثينات) وأهمها البنتان الحلقي والهكسان الحلقى ومشتقاتهما. أما بقية أنواع النفط فإنها تحتوي على كلاً من النوعين الألكانات المشبعة الاعتيادية والحلقية. ويحتوي النفط كذلك على كميات قليلة (0.1 - 3 %) من المركبات الأوكسيجينية (الحوامض النافثينية) والتى تتميز على أنها مشتقات البنتان الحلقي ومن المركبات النيتروجينية والكبريتية (مشتقات البيريدين والكوينولين والمركبتان والكبريتيدات والثايوفين وغيرها)، أما النفط الموجود في بورنيو (أندونسيا) فإنه يحتوى على كميات كبيرة من الهيدروكربونات الأروماتية.

- المكونات الكيميائية للنفط الخام وأهميتها

يتكون النفط الخام كيميائيًا عند فصله بواسطة التقطير التجزيئي إلى أربعة مكونات كيميائية رئيسة هي:

1) الجازولين: عند حرارة 200 - 40 م°
2) البارافين (الكيروسين): عند حرارة 250 – 40 م°
3) الديزل، زيت الوقود، النفط الثقيل: عند حرارة 300 – 250 م°
4) زيوت التشحيم، الشحوم، المشع البارافيني والجازولين: أكثر من 300 م°

أما ما يتبقى بعد ذلك فهي منتجات أسفلتية.

عند إجراء تقطير جزيئي بكفاءة عالية لأجزاء النفط والتي تحتوي على نظائر الهيدروكربونات المشبعة المتضمنة من C_{10} - C_5 فأن النواتج تكون:

إيثر بترولي: عند حرارة 70 – 40 م°
بترول خفيف: عند حرارة 90 – 70 م°
ليكروين: عند حرارة 120 – 90 م°
نفط ثقيل: عند حرارة 200 – 120 م°

ومن الجدير بالذكر أن فصل النظائر للهيدروكربونات الحاوية على C_6 فما فوق يكون صعباً وذلك لكثرة أعداد هذه المركبات وتقارب درجة غليانها.



استخدامات المنتجات النفطية :

استخدام مكونات الجازولين كمذيبات وعوامل استخلاص للزيوت والشحوم والاصماغ إضافة إلى استخدامها كوقود للسيارات والطائرات.

استخدام مكونات الكيروسين ($C_{16} - C_{6}$) كمصدر للإضاءة والتدفئة.

استخدام زيت الغاز الذي يحتوي على هيدروكربونات من ($C_{18} - C_{12}$) في محركات الديزل وكمصدر للحرارة،

استخدام الجزء الصلب من النفط بتقطيره في درجات قليلة للحصول على الهيدروكربونات ثم يعرض للتقطير تحت الضغط المختزل للحصول على مزيتات ذو جودة عالية كزيوت المحركات والفازلين وهي الحاوية على ($C_{22} - C_{16}$) وهذه الزيوت تكون مضادة للأكسدة وذات ثبات عالي تجاه الحرارة العالية والتآكل.

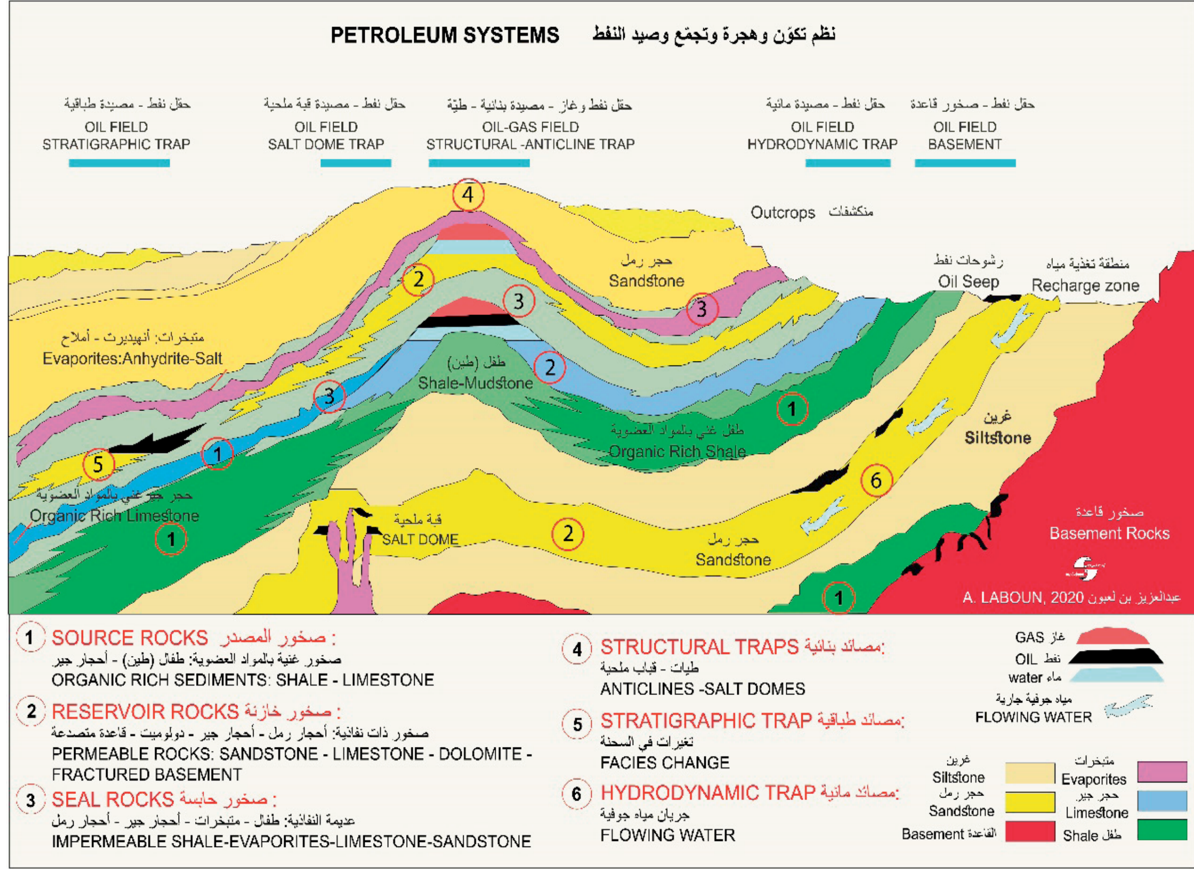
يتم الحصول على شمع البارافين ذو الأهمية الصناعية بواسطة البلورة من جزء المزيتات ويكون حاوياً على هيدروكربونات مشبعة تتضمن من $C_{20} - C_{40}$ وذات درجات انصهار تتراوح بين 45 – 60 م^{o}، وتنحصر استخداماتها كبادئة لتفاعلات الأكسدة للهيدروكربونات وفي صناعة الشموع وأعواد الثقاب وفي المواد العازلة.

مع تطور المحركات والآلات فقد ازدادت الحاجة إلى الوقود بشكل كبير وخاصة وقود السيارات والطائرات، الأمر الذي تطلب بحوثاً مستمرة لاكتشاف واعتماد طرق جديدة لتحويل الهيدروكربونات ذات الوزن الجزيئي العالي إلى مركبات ذات جزيئات صغيرة وبديلة للوقود (التكسير الحراري) ولاصطناع النفط من الفحم.

4-8 النظام النفطي Petroleum System

يشمل النظام النفطي كل العناصر والعمليات الجيولوجية الأساسية لعملية توليد وانتاج النفط كما هو موضح بالشكل (8-1). تشمل هذه العناصر التالي:





الشكل (8-1). عناصر النظام النفطي.

- صخور المصدر Source Rocks

تختلط المواد العضوية الناتجة من موت الكائنات الحية المختلفة النباتية والحيوانية بالرواسب الطينية والغرينية والجيرية أثناء الترسيب، ويتم حفظها وحجزها بعيداً عن الأكسجين، وتكون أغلبها عبارة عن طحالب وكائنات دقيقة، وبذلك يتم حفظها من الأكسدة وفسادها، ومع مرور الزمن واستمرار الترسيب يزداد عمق المواد العضوية وبالتالي تزيد كتلة الطبقات الضاغطة من الأعلى. ويؤدي تزايد الضغط ودرجة الحرارة لملايين السنين إلى نضج المادة العضوية وتحولها إلى هيدروكربونات. وتسمى الصخور الرسوبية التي تحتوي على المادة العضوية بصخور المصدر، وغالباً ما تكون صخور طفلية أو طينية أو من



أنواع معينة من الصخور الجيرية. لكي يكون الصخر مصدراُ جيداً لإنتاج الهيدروكربونات، يجب أن يتميز بثلاث خصائص وهي:

أولاً: توفر كمية كافية من المواد العضوية لا تقل عن 0.5 % من مجمل الكربون الكلي من وزن الصخر، وأن تكون قادرة على إنتاج النفط والغاز بكميات وفيرة.

ثانيًا: بلوغ المواد العضوية إلى مرحلة النضوج المناسبة (حرارة وضغط وتفاعلات حيوية وكيميائية).

ثالثًا: تظافر العوامل الجيولوجية الزمنية والتكتونية البنائية (تكوّن سبل الهجرة وتشكّل المصائد).

ويمكن تصنيف صخور المصدر إلى:

أ) **صخور المصدر المحتملة:** هي الصخور التي تحتوي على مواد عضوية بكميات كافية لتوليد الهيدروكربونات إذا ما تعرضت للنضج الحراري الكافي.

ب) **صخور المصدر الفعالة:** هي الصخور التي تعرضت لنضج حراري مناسب واصبحت مولدة للهيدروكربونات في الوقت الحاضر.

ج) **صخور المصدر قليلة الفعالية:** هي الصخور التي توقفت عن توليد الهيدروكربونات بسبب انخفاض درجة الحرارة بسبب التكتونية او فقد جزء كبير من المادة العضوية قبل نضوجها.

د) **صخور المصدر المستهلكة:** وهي الصخور التي استنفذت قدرتها على انتاج الهيدروكربونات لافتقارها للمواد العضوية او وصولها الي مرحلة النضج الحراري المتزايد.

- صخور المكمن Reservoir Rocks

صخر المكمن هو الصخر ذو المسامية والنفاذية التي تسمح بمرور أو تجمّع السوائل فيه، مياه ونفط وغاز.



وتقسم الصخور الخازنة إلى نوعين رئيسين هما :

أ) الصخور الخازنة الفتاتية : وتتمثل بالحجر الرملي والكونجلوميرات، حيث يعتبر الحجر الرملي أفضل الصخور لتجمع النفط نتيجة لاحتوائه على مسامية ونفاذية عاليتين.

ب) الصخور الخازنة الكربونية : وتتمثل بالحجر الجيري والدولوميت، وغالبا ماتكون مسامية هذه الصخور ثانوية نتيجة لعمليات النشأة المابعدية التي تحدث للصخور بعد الترسيب.

- صخور الغطاء Seal or Cap Rocks

صخور الغطاء أو المحبس هي صخور غير منفذة تعمل على منع مرور الموائع من خلالها رأسيًا، ومنها صخور المتبخرات والطفل والحجر الجيري دقيق الحبيبات، وتعتبر المتبخرات أفضل صخور الغطاء.

- المصائد النفطية Petroleum Traps

المصيدة هي نسق هندسي للطبقات الرسوبية يسمح للنفط أو الغاز أو لكليهما بالتجمع فيه بكميات اقتصادية، ويحول دون تسربها منها جانبيًا، ويتخذ هذا النسق الطبقي الهندسي أشكالاً عدة، لكن تظل السمة الرئيسية للمصيدة هي وجود صخر مسامي نفاذ مغطى بصخور حابسة غير منفذة. ويعد الماء عاملاً أساسياً في توجيه النفط والغاز إلى المصيدة في أغلب الحالات، مثلما يساعد في إزاحة النفط والغاز إلى فتحات الآبار في مرحلة الإنتاج، وهكذا تكون المصيدة مكان تبادل نشط للسوائل.

يسمى الجزء المنتج من مصيدة النفط بنطاق العطاء Pay zone، ويختلف سمكه من مترين في بعض حقول ولاية تكساس بالولايات المتحدة الأمريكية إلى مئات الأمتار في حقول بحر الشمال والشرق الأوسط. ومع ذلك ليس ضروريا أن تنتج كل كمية النفط في "نطاق العطاء الإجمالي"، ولذا نميز بينه وبين "العطاء الصافي" الذي يمثل السمك العمودي التراكمي للمكمن المنتج للنفط. وفي تطوير أي مكمن بترولي لابد من تحديد نسبة المنتج



الصافي إلى المنتج الإجمالي في الحقل. ويمكن إنتاج النفط من خط مستوى الامتلاء Spill Plane حتى قرب الهامة Crest وهي أعلى نقطة في المصيدة. ومن الممكن أن تحتوي المصيدة على النفط أو الغاز أو كليهما، ويمثل سطح تماس النفط والماء Oil Water Contact-OWC أعمق مستوى لإنتاج النفط، بينما يعتبر سطح تماس الغاز والنفط Gas Oil Contact-GOC أدنى مستوى لإنتاج الغاز، ومن الضروري تحديد هذين السطحين بدقة قبل حساب احتياطي النفط والغاز الطبيعي في المكمن وتقدير معدل الإنتاج.

وفيما يلي تصنيف مصائد النفط ذات الجدوى الاقتصادية والذي قدمه العالم سيلي عام 1985.

1) المصائد التركيبية Structural Traps

وهي مصائد تنشأ بفعل الحركات التكتونية التي تحدث لصخور القشرة الأرضية وتشمل مصائد الطيات المحدبة ومصائد الصدوع (الشكل 8-2). يتجمع النفط في مصائد الطيات المحدبة عند القمة وتنقسم مصائد الطيات المحدبة الى نوعين:

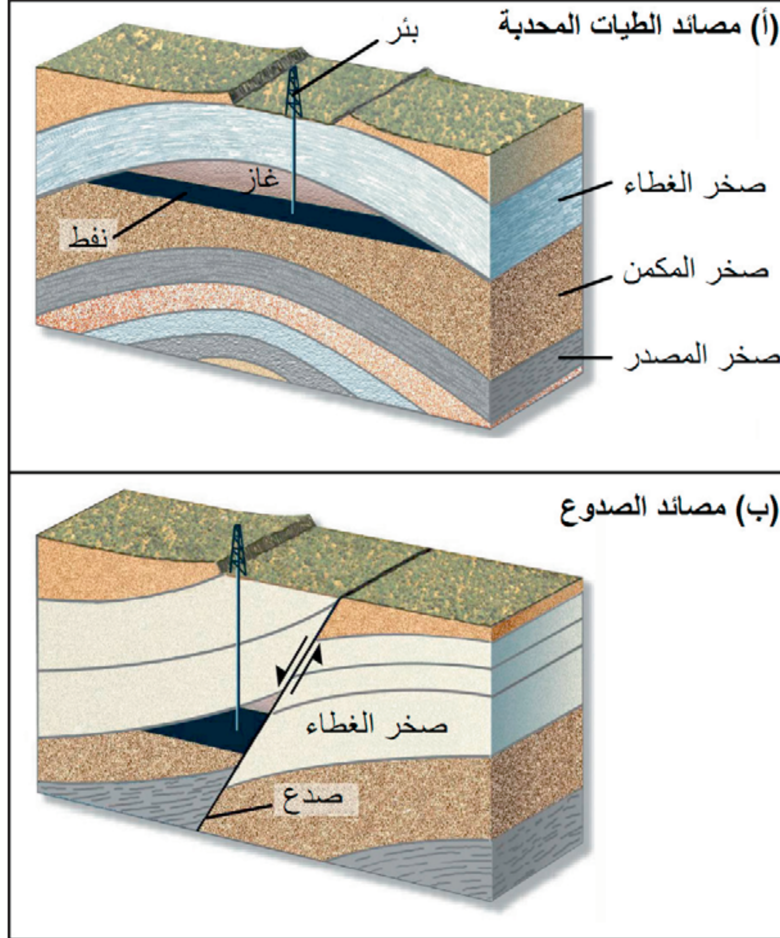
النوع الأول: مصائد الطيات المحدبة الانضغاطية والتي تنتج من الانضغاط بفعل تقصير في القشرة الأرضية وتوجد في الغالب بجوار السلاسل الجبلية.

النوع الثاني: هو مصائد الطيات المحدبة المحكمة حيث يؤدي الشد في القشرة الأرضية الى تكون مرتفعات ومنخفضات في الأعماق ونتيجة للترسيب التفاضلي تترسب الطبقات مكونة طيات محدبة فوق المرتفعات.

تقوم الصدوع بدور مهم ومباشر في تكوين المصائد، حيث تعمل على وضع الطبقات غير المنفذة في طريق الطبقات المنفذة الحاملة للنفط مما يمنع من هجرته وبالتالي اصطياده. كما قد يكون للصدع دور غير مباشر في اصطياد النفط، بأن يشترك في ذلك مع ظواهر تركيبية أخرى، مثل الطي أو تغيير النفاذية. وقد يكون سطح تماس الغاز والنفط متصلا في المصيدة المحدبة المتأثرة ببعض الصدوع، وعندئذ يكون عنصر الاصطياد الرئيسي هو الطي، أو غير متصل فيكون الصدع هو العامل الرئيسي في تكوين المصيدة، أو تكون الطية



المحدبة قد تأثرت بالصدع فانفصل التجمع النفطي بها إلى أجزاء.



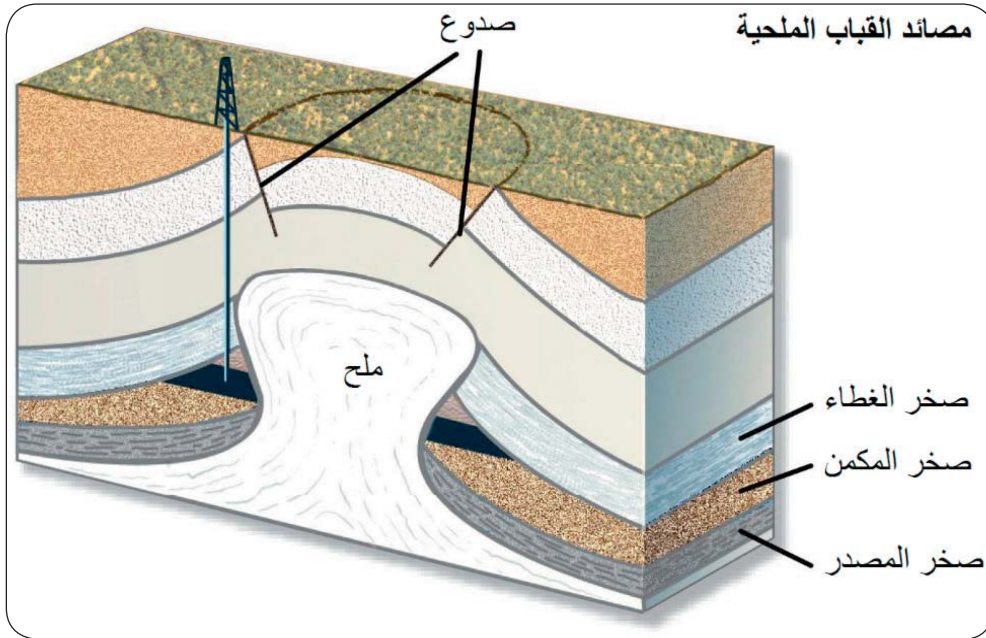
الشكل (2-8): مصائد الطيات المحدبة (a) ومصائد الصدوع (b)

2) المصائد الاقتحامية Diapiric Traps

تتشكل المصائد الاقتحامية أو القبوية أو الانبثاقية نتيجة حركة طبقات الصخور اللينة كالملحية والطينية الانسيابية قليلة الكثافة إلى أعلى مخترقة للصخور الأعلى كثافة التي تعلوها ومكونة قباب وغيرها من التراكيب البنائية (الشكل 8-3). تتكون المصائد الاقتحامية بشكل عام بسبب حركة الرواسب الملحية وفى بعض الأحيان بسبب حركة الطين. تتكون مصائد القباب الملحية salt domes نتيجة اختلاف كثافتي الملح والطبقات الرسوبية التي



تعلوها، فالملح أقل كثافة، ومن ثم يندفع إلى أعلى، ويتسبب في تقبب الطبقات الرسوبية التي تعلـوه، وعند هجرة النفط فإنـه يتحرك نحو الجوانب الخارجية للطبقة الملحية، وينحصـر بـين الطبقات الرسـوبية من جهة والقبـة الملحية من جهة أخرى. ويـؤدي النمو غير المنتظم للقبـاب الملحية إلى تكوين مصـائد متعددة متتالية ومتنوعة. وأهم أسـباب تكوين مصـائد القباب الملحية هي اندفاع غازات مصـاحبة لنشـاط بركاني، ينتج عنها ترسيب الأملاح من المحاليل المائية، ثم اندفاع الكتل الملحية إلى أعلى، أو صعود المحاليل الملحية الحارة إلى أعلى من خلال ثغرات ضعيفة في الطبقات، ثم انخفاض درجات حرارتها تدريجيا مسببة ترسيب الملـح وتزايد كميتـه وحجمه تدريجيا نتيجة اسـتمرار عمليـات التبريد والتبلـر، مما يؤدي إلى اختراق القباب الملحية للطبقات الرسـوبية التي تعلوها وتوغلها فيها كما هو موضـح في الشكل (8-3).



الشكل (8-3): مصائد القباب الملحية



3) المصائد الطباقية Stratigraphic Traps

تتكون المصائد الطباقية نتيجة تغييرات جانبية في مسامية ونفاذية صخور المكمن أو عدم استمراريتها، وفي هذا النوع يكون تماس الصخور المختلفة حاداً أو تدريجيا ومتوافقا. ومن أهم المصائد الطباقية تلك التي يحاط فيها صخر المكمن المنفذ مثل الحجر الرملي بآخر غير منفذ مثل الطفل الصفحي، وبذلك يكون التغير في النفاذية أساس تكوين المصيدة (الشكل 8-4). وتقسم المصائد الطباقية إلى مصاحبة لسطح عدم توافق ومصائد غير مصاحبة لسطح عدم توافق، وأخرى. هناك نوعان من المصائد النفطية غير مصاحبة لسطح عدم توافق، هي المصائد الترسيبية ومصائد النشأة الما بعدية Diagenesis. تشمل المصائد الترسيبية مصائد الترقيق Pinch-out، مصائد الشعب المرجانية Coral reef، مصائد القنوات Channels، ومصائد العدسات Lenses، ومصائد الحواجز Barrier Bar. في مصائد الترقيق يتضاءل سمك قطاع سميك من صخور ذات مسامية ونفاذية عالية ويدمج في صخر طيني غير منفذ حيث يتم اصطياد النفط في الجزء المسامي والمنفذ من القطاع. وفي مصائد الشعاب المرجانية تحاط أحجار الجير المرجانية ذات المسامية والنفاذية بصخور طينية أو جيرية غير منفذة. ومصائد القنوات عبارة عن وسط بيئي لنقل وترسيب الرمال في قنوات طويلة مكونة أحجار رمل ذات مسامية ونفاذية عالية، يتم اصطياد النفط والغاز فيها. وتتشكل مصائد العدسات عندما توجد كتلة ضخمة من الرمل داخل قطاع من الطفلة. أما مصائد الحواجز فهي كتل رملية أو من الزلط والحصى، وتظهر غالبا بشكل جزيرة على الشاطئ، ورمالها غالباً نظيفة وجيدة التصنيف. وهناك حواجز رملية مطوقة بطين صفحي بحري، أو طين صفحي من بحيرات شاطئية، تكون مصائد نفطية.

ومن عمليات النشأة الما بعدية دور السوائل في إذابة صخور المكمن لتكسبها مسامية ثانوية، أو دور المحاليل الغنية بالمعادن في عملية السمنتة Cementation، التي تكاد تؤدي إلى تدمير مسامية الصخور بشكل عام. ويمكن أن تؤدي هذه العمليات إلى تكوين مصيدة نفطية إذا اعترض نطاق مسمنت طريق نفط أو غاز يتحرك إلى أعلى في طبقة منفذة. كذلك

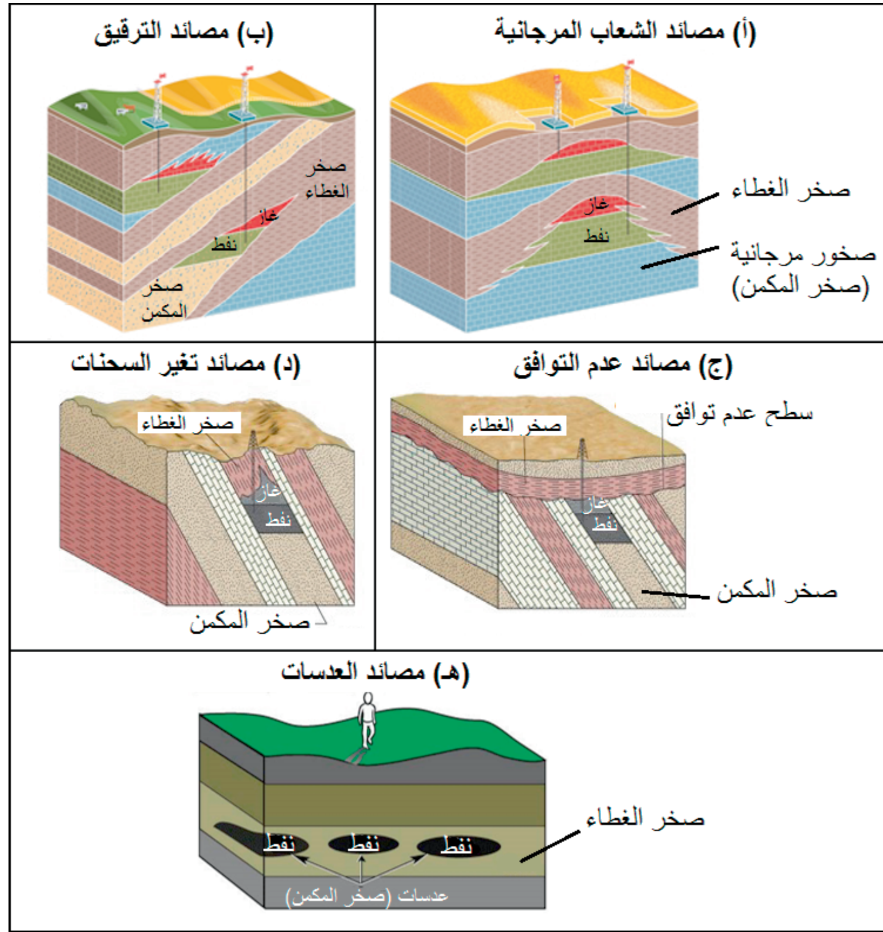


يمكن اصطياد النفط أو الغاز في نطاق معين بسبب نشوء مسامية ثانوية في حيز محلي في صخور مسمنتة، وقد تتسبب عملية "التدلمته" Dolomitization في تكوين مصائد نفطية بين تكوينية غير منتظمة؛ لأن الدولوميت يشغل حيزا فراغيا أقل من الحجم الأصلي الذي كان يشغله الحجر الجيري، وبذا تتكون مسامية ثانوية. أما المصائد المصاحبة لسطح عدم توافق فتنشأ نتيجة عمليات تآكل Erosion تؤدي إلى تكوين سطح عدم توافق يفصل بين صخور منفذة وصخور غير منفذة، وعندئذ يتم تكوين مصيدة النفط في الصخور المنفذة أعلى سطح عدم التوافق أو أسفله.

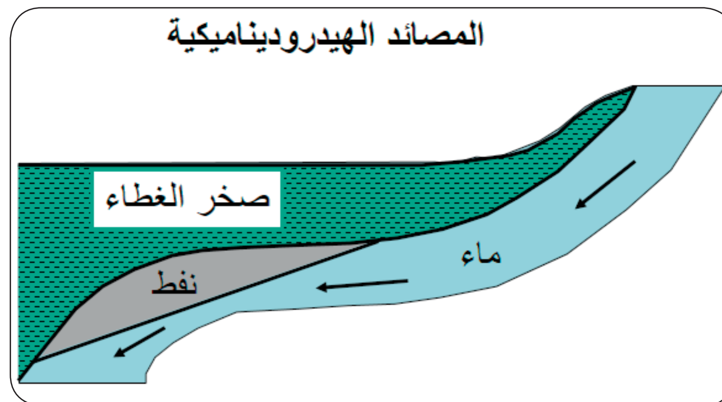
4) المصائد الهيدروديناميكية Hydrodynamic Traps

تعمل المصائد الهيدروديناميكية وهي المصائد المتمثلة في قوة جريان الماء لمنع النفط من التحرك في اتجاه أعلى الميل في الطبقات الرسوبية، إذ يعترض الماء المتحرك هيدروديناميكيا في اتجاه أسفل الميل السوائل النفطية الصاعدة إلى أعلى عندما تكون القوة الهيدروديناميكية للماء أكبر من القوة الناتجة من قابلية طفو قطرات النفط في الماء Buoyancy، وبذلك يمنع الماء تحرك النفط لأعلى، مما يؤدي اصطياده دون الحاجة إلى وجود حاجز غير منفذ (الشكل 8-5).





الشكل (8-4): الأشكال المختلفة للمصائد الطباقية.

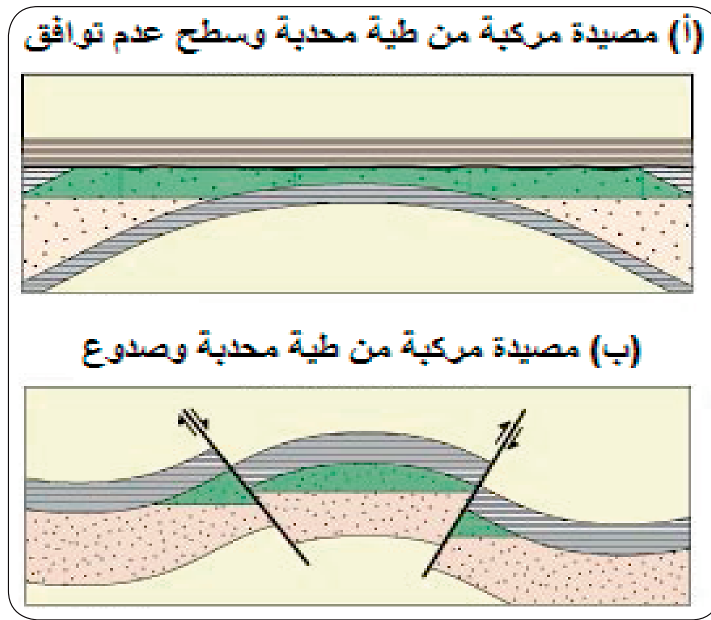


الشكل (8-5): المصائد الهيدروديناميكية.



5) المصائد المركبة Combination Trap

مصــائد النفط المركبة هي المصــائد المكونة من أكثر من نوع من المصائد، مثلًا مصيدة مكونة من عنصــر طبقي نشــأ عن وجود حافة فاصلة بين طبقات منفذة وأخرى غير منفذة، وعنصــر تركيبــي نتج عن حركات تكتونية للقشــرة الأرضــية (الشــكل 8-6). ومــن أمثلتها اصطياد النفط في مواجهة صدع Fault، وهو عنصر تركيبي في طبقة رملية أحاطت حوافها طبقة غير منفذة تمثل عنصرا طبقيا، ومصيدة طبقية مصاحبة لسطح عدم توافق تم طيها لاحقــا. وتعطي المصــائد المتعددة التي يواكب تكوينها نشــوء القباب الملحيــة أمثلة لكل أنواع مصائد النفط من تركيبية أو طبقية أو مركبة.



الشكل (8-6): امثلة للمصائد المركبة.

- هجرة وتجمع النفط Petroleum Migration & Accumulation

بعد نشــأة النفط والغاز في صــخر المصدر يهاجر من صــخر المصدر نحو صخر الخزان والذي في الغالب يتكون من الحجر الرملي ذو المســامية والنفاذية العالية مما يســمح للنفط السائل والغاز الطبيعي بالتحرك إلى أن يجد حاجز يمنع هجرته وحركته إلى الأعلى ومصيدة



يتجمّع فيها وتمنع هجرته جانبيًا، وللمصـيدة طبيعة هندسية تسمح بتراكم الهيدروكربون، وتحدث هذه العملية خلال ملايين من السـنين. ومن أهـم الدلائل على هجرة النفط ظهوره على السطح على هيئة رشح نفطي oil seeps. عادة ما يذهب اعتقاد عامة الناس إلى وجود النفط أو الغاز داخل خزان كبير في باطن الأرض، مع أن صـخر المكمن يكون ممتلئ بسـائل نفطي أو ماء أو غاز طبيعي في مساماته كإسفنج ممتلئ. وتنقسم هجرة النفط إلى:

أ) **الهجرة الأولية :** وفيها ينتقل النفط مباشرة من صخر المصدر إلى صخر الخزان.

ب) **الهجـرة الثانويـة :** عندمـا يتحـرك النفط داخل الخزان نفسـه مـن المناطق ذات الضـغط العالي إلى المناطق ذات الضغط الأقل. وبفعل التباين في الكثافة ينفصل الغاز وهو الأخف الى الأعلى ويتوسـط النفطُ الغازَ والماءَ لأنه أخف من الماء وأثقل من الغاز، ويسـتقر الماء في الأسفل إذا كان موجودًا.

ولكي يتجمع ويتراكم النفط لابد من توافر ثلاثة عوامل سبق التعريف بها وهي :

1. وجـود صـخور ذات مسـامية عالية تسـمح بتجمع كمية كبـيرة ونفاذية عالية لتسـمح للهيدروكربونـات بالتحرك خلالها كالحجر الرملي والجـيري والكونجلوميرات وهذه الصخور تعرف بصخور المكمن
2. وجود صـخور صـماء غير منفذة تمنع حركة الهيدروكربونات وهروبها لأعلى كالطفل والمتبخرات والتي تسمى بصخور الغطاء.
3. وجود مصائد تحفظ وتمنع حركة النفط والغاز أفقيًا.

8- 4-1 تحديد وتسمية النظام النفطي

Identification and Naming the Petroleum System

تتم عملية تحديد النظام النفطي من خلال الآتي:

أ) استكشـاف وجود بعض الهيدروكربونات سـواءً عن طريق ظهور تسـريبات للنفط أو الغاز على سـطح الأرض، أو من خلال حفر آبار استكشـافية بحثًا عن نفط أو غاز في البئر، وعد ذلك يتم معرفة وجود عناصر النظام النفطي.



ب) تحديد حجم عناصر النظام النفطي من خلال معرفة نوعية وسماكة:
- الصخور الغنية بالمواد العضوية ونوعياتها وخصائصها الكيميائية والطباقية لها.
- الصخور الخازنة ومساماتها ونفاذياتها وما تحتوي عليه من نفط وغاز
- صخور الغطاء غير المنفذة والتي تقوم بحجز الهيدروكربونات رأسيًا.
- نوع المصيدة أو المصائد التي يتجمع فيها النفط والغاز والتي تمنع هجرته جانبيًا.

ت) إعداد جدول لتحديد كمية الهيدروكربون في النظام.

أما تسمية النظام النفطي تتم من خلال معرفة وتحديد عدة أجزاء أهمها الصخور المصدرية المولدة للنفط، واسم تكوين الصخور الخازنة التي تحتوي على أكبر كمية من الهيدروكربون، ورمز يدل على مقدار الثقة أو التأكيد من أن الصخور المصدرية قد أنتجت الهيدروكربون وهناك عدة رموز تستخدم بناء على مقدار درجة التأكد وهي:

- مؤكد known (!): عند مضاهاة الصخور المصدرية الحاملة للنفط أو الغاز.
- افتراضي Hypothetical (!!): عند استخدام الأدلة الجيوكيميائية.
- تخميني Speculative (?): عند استخدام الأدلة الجيولوجية والجيوفيزيائية.

5-8 طرق البحث والتنقيب عن النفط

لاتوجد مناطق محددة أو صخور معينة، أو أعماق متقاربة، أو عصور جيولوجية محددة يوجد فيها النفط وإن كنا نعرف أن النفط قد تكون واختزن واحتجز في طبقات يتراوح أعمارها التكوينية بين حقب الحياة العتيقة القديمة Paleozoic والعصور السفلى لحقب الحياة المتوسطة، وأن الاستكشاف والإنتاج النفطي قد امتد إلى حقب الحياة الحديثة Cenozoic. ومن ثم يتطلب دراسة طبقات الصخور تحت سطح الأرض للعثور على النفط وتراكيبها الجيولوجية، بحثا عن الأحواض الرسوبية والمكامن النفطية المحتملة فيها، سواء على اليابسة، أم تحت سطح البحر، بل وتحت الجليد في شمال الكرة الأرضية وجنوبها. ويتطلب التنقيب عن النفط استثمارات مادية كبيرة، وخبرات تكنولوجية متطورة، وتمويلا مستمرا لخطط الاستكشاف، وتكامل عناصر تعدين النفط وصناعته، ونقله وتسويقه.



وهدف التنقيب الواضح هو البحث عن مكامن تجمع النفط باستخدام مختلف أنواع المسح، والكشف جوياً وأرضياً وجوفياً، ويعتبر الرشح النفطي مؤشراً إيجابياً لتحديد أغلب مناطق التنقيب، إلى جانب البحث عن النفط في مصائد بنائية معينة كالطيات المحدبة والقباب.

وتشمل تقنيات التنقيب المسح الجيولوجي الطبقي، الذي تستخدم فيه أدوات الاستشعار عن بعد كالصور الجوية الرادارية والتصوير بالأقمار الصناعية، إلى جانب الدراسات الميدانية بهدف تحديد العناصر الجيولوجية الرئيسية في مناطق معينة، وأنواع صخورها، وامتدادها السطحي وتراكيبها المتنوعة، ورسم خرائط جيولوجية لها، وتقدير احتمالات تكون النفط في طبقات رسوبية معينة، وترتيبها وأعماقها وسمك الطبقات الخازنة المحتملة، وبعض خصائص المصائد النفطية. ثم تأتي بعد ذلك مرحلة المسح الجيوفيزيائي باستخدام الطرق الزلزالية والجاذبية والمغناطيسية والمقاومة الكهربية، والاستقطاب المستحث، والجهد الذاتي والموجات الكهرومغناطيسية لتحديد أهم الخواص الطبيعية للصخور، مثل الكثافة والمسامية والمرونة والسعة الكهربية والصفات المغناطيسية. وباستكمال الدراسات الكيميائية للصخور، يمكن معرفة مدى احتوائها على المواد العضوية المولدة للنفط، وكذلك التعرف على وجود مؤشرات وجود خزانات نفطية كبرى، مثل وجود صخور مسامية ترتفع بها نسبة الكربونات، وتتحلل موادها بسرعة تحت تأثير عوامل التجوية الكيميائية من رطوبة وجفاف وتجوية عضوية بصفة خاصة. الجيولوجيا إذاً من خلال مشاهدات الصخور والآبار، والجيوفيزياء بطرقها العديدة تقدم اليوم وسائل عملية لدراسة تكوين باطن الأرض وتركيبه، ومع ذلك لا تستطيع جميع الدراسات الجيولوجية والجيوفيزيائية والجيوكيميائية أن تحدد بدقة مواقع تجمعات النفط والغاز مهما كانت شمولية تلك الدراسات، إذ لابد من الحفر، فهو العامل الحاسم في استكشاف النفط، ويرتبط النجاح فيه بالتحديد الدقيق لمواقع الآبار، وتقدير العمق المحتمل لوجود النفط في الطبقة أو الطبقات، وكفاءة برمجة الحفر ونظم معلوماته، للتعرف على الطبقات تحت السطحية في أثنائه وتقدير السمك والعمق لكل منهما.



8-5-1 المسح الجيولوجي الطبقي

تم اكتشاف أول بئر للنفط في الولايات المتحدة الأمريكية في ولاية فرجينيا عام 1806، وتم حفر أول بئر متكامل في مدينة تيتوفيل Titusville بولاية بنسلفانيا، وتلى ذلك اكتشاف أول حقل نفطي دون الاعتماد على شواهد رشح للنفط على السطح، أي بالاعتماد على الدراسات الجيولوجية الميدانية في مقاطعة كوشينج في أوكلاهوما بالولايات المتحدة الأمريكية من خلال الحفر في طية محدبة. في أوائل القرن العشرين كانت مناطق التنقيب عن النفط هي التي تظهر فيها شواهد نفطية مثل البقع البتيومينية، وتسربات الغازات، وبعض الصخور الأسفلتية التي تكشفها عوامل التعرية. ثم بدأ الاعتماد على أجهزة قياس المغناطيسية الأرضية لتحديد الاختلافات الصغيرة أو الطفيفة في المجالات المغناطيسية للتراكيب الصخرية حتى يمكن الاستدلال على بنية الطبقات ومعرفة نوعيات التراكيب الجيولوجية للصخور الرسوبية، وإنشاء خرائط خطوط الكنتور تحت السطحية، وتحديد مناطق الثنيات أو الطيات الصخرية المحدبة والمقعرة، وسمك بعض الطبقات الرسوبية فيها. وبتطور تكنولوجيات التنقيب عن النفط يجري حاليا قياس المغناطيسية الأرضية عن طريق المسح الجوي، الذي يتيح تغطية مساحات كبيرة، والوصول إلى مناطق صعبة طبوغرافيا، والتي لا يسهل استخدام طرق النقل الأخرى فيها.

ويعتبر التصوير الطيفي بالأقمار الصناعية ومنها سلسلة لاندسات، التي أطلق أولها عام 1972م، من أحدث طرق المسح الجيولوجي (استخدمت صور أقمار لاندسات لحوض أناداركو Anadarco Basin الممتد بين ولايتي أوكلاهوما وتكساس لتحديد 59 حقلا نفطيًا منتجاً، كما استخدمت صور لاندسات في خمسة حقول في العالم العربي هي حقل الغوار السعودي، وحقل البرقان الكويتي، وحقل بوزرغان العراقي، وحقل المسلة الليبي، وحقل البرمة التونسي وذلك لغرض دراسة ثروات الأرض المعدنية والنفطية، ويمكن بواسطتها تحديد مناطق تسرب النفط إلى السطح، وأماكن الصدوع والطيات واستراتيجرافية الإقليم. ويمكن تدقيق المعلومات المرجحة عن التراكيب الجيولوجية بواسطة أنظمة التصوير



الـرادارى المحمولة بواسـطة الأقمار الصـناعية، والتي تعمل ليلاً ونهاراً ولا تتأثر بالسـحب وتتيح تحديد الأحواض الرسـوبية والاختيار السليم لمواقع المسح الجيوفيزيقي التالي للمسح الجيولوجي.

وتتكامل أعمال التصـوير والاستشـعار عن بعد مع الدراسـات الجيولوجية الميدانية على الأرض، ومع الاسـتعانة بالصـور الجوية وتطوير الخرائط الجيولوجيـة من حيث التراكيب ونوعيات الصـخور وأعمارهـا المختلفة، والتضـاريس واتجاهات ميول الطبقـات، والطيات والفوالق. وترسـم خرائط وقطاعات عرضية لامتداد الصـخور الظاهرة على سطح الأرض وتحتـه، كمـا يتم تجميـع العينات من مختلف الصـخور لتحليلهـا، وبذلك تتهيـأ قاعدة من المعلومات لاسـتكمال أعمال استكشـاف النفط. وفي العمل الميداني يرصـد الرشـح النفطي الذي قد يتخذ شكل طبقة بترولية رقيقة فوق سطح عين أو بحيرة، أو نهر، أو صورة تسربات بسـيطة من الصخور المسامية السطحية المتشققة، كما قد يبدو في صورة بحيرة صغيرة من القار. وقد تخرج المواد الأسـفلتية على شـكل تجمعات لدنة وأغشية رقيقة فوق صخور سطح الأرض، مثل ما يوجد في إقليم بوريسلان غرب أوكرانيا Ukraine.

ويشـمل المسـح الجيولوجـي الطبقـي الأولى اسـتخدام مقياس الجاذبيـة الأرضـية Gravimeter للتعـرف علـى مواقـع الصـخور وكثافاتهـا، واسـتنتاج بعض المعلومات عن التراكيب الجيولوجية للمكامن والمصائد النفطية.

8-5-2 المسح الجيوفيزيائي

يعتبر المسـح الجيوفيزيائي الأداة العملية لاستكمال المعلومات المفيدة وتدقيقها عن بنية الطبقات وتراكيب المكامن النفطية، وللحصول عليها في المناطق صعبة التضاريس كالمناطق البحريـة، والصـحاري، والصـحاري الجليديـة القطبيـة، ومناطق البراكين. وقـد أوجدت الحاسبات الآلية قدرات أفضل في معالجة المعلومات الجيوفيزيائية، مثلما تطورت استخدامات الفضـاء في الكشـف عن الثروات النفطية والمعدنية. وتشـمل الطرق الجيوفيزيائية الشائعة الاسـتخدام المسح الزلزالي (السـيزمي)، والجاذبية، والمغناطيسية، والطرق الكهربية، ثم



الطرق الأقل استخداما وهي قياس الإشعاع والحرارة عند أو بالقرب من سطح الأرض أو في الجو. وإذا كانت الطرق الزلزالية والجاذبية هي أساسا أدوات للبحث عن النفط، فإن الطرق الكهربية تستخدم عادة للكشف عن المعادن، غير أن معظم العلماء الروس والفرنسيين يستخدمون الطرق الكهربية والمغناطيسية معاً في البحث عن النفط والمعادن.

سيتم اعطاء مختصر كيفية الإستفادة من كل طريقة جيوفيزيقية في البحث عن النفط، إلا أنه سيتم تخصيص الفصل التالي لشرح تقنية الطرق الجيوفيزيائية بشكل أوضح.

- الطريقة الزلزلية (السيزمية)

يعد المسح الزلزالي آداة عملية لتحديد التكوين الجيولوجي تحت سطح الأرض، ويعتمد على تفجير شحنة صغيرة من المتفجرات قريبة من السطح، تنتج عنها صدمة آلية أو هزة أو موجة زلزالية، من نوع ريلي Rayleigh أو لف Love، وهذه الموجة تعود إلى السطح بعد انعكاسها من الأوجه الفاصلة بين الطبقات ذات الخواص الطبيعية المختلفة، وتسجل الانعكاسات بأجهزة حساسة سريعة الاستجابة لحركة الأرض Geophones & Detectors، توضع على أبعاد محددة من نقطة التفجير لتلقي الموجات الصوتية المنعكسة وقياس زمن ارتداد الموجة الزلزالية. ومن المعروف أن سرعة الموجات الصوتية تعتمد على كثافة الصخور التي تمر بها. ويمكن حساب أعماق الطبقات وسمكها واستنتاج أنواعها بقياس أزمنة الانعكاس ومقارنتها، والتعرف على الظواهر التركيبية في الطبقات السفلى وبيئة الترسيب ومن ثم إنتاج خرائط تركيبية لأي مستوى جيولوجي يعطي انعكاسات للموجات الصوتية، وتحديد أماكن الطيات المحدبة والفوالق والقباب الملحية والشعب وخواصها. ويجري المسح الزلزالي أيضاً في البحار باستبدال المتفجرات بشرارة كهربية ذات فولت عالي، قد يصل إلى عشرة آلاف فولت، تفرغ تحت الماء لإحداث نبض سمعي Acoustic Pulse على فترات قصيرة متتابعة لإجراء المسح السيزمي على أعماق بين 100 - 400 متر. ويمكن إجراء هذا المسح على أعماق كبيرة قد تصل إلى 2- 2.5 كم باستخدام قاذف صغير لخليط متفجر من غازي البروبان والأكسجين يشعل بشرارة كهربية. وطريقة الانعكاس الزلزالي أنجح



الطرق الزلزالية المستخدمة في معرفة الطبقات القريبة من سطح الأرض، وتحديد الظواهر التركيبية التي يشتمل أنها مكامن بترولية، وبخاصة الطيات المحدبة والفوالق والقباب الملحية وبعض البنيات الاختراقية الأخرى.

أما طريقة الانكسار الزلزالي فتتيح تسجيل الإشارات الزلزالية على مسافات كبيرة من نقطة التفجير، والحصول على معلومات عن السرعات والأعماق الخاصة بالطبقات تحت سطحية التي تنتقل خلالها، ولقد استخدمت في الماضي في تحديد جوانب قباب الملح قبيل استخدام الطريقة الانعكاسية. ومع أن طريقة الانكسار لا تعطي معلومات دقيقة عن التراكيب الصخرية، وهي أقل استخداما في استكشاف النفط حاليا، إلا أنها مصدر جيد للمعلومات عن سرعة انتشار الموجات في طبقات الانكسار الزلزالي، وبالتالي التحديد التقريبي لمواقع وأعماق طبقات صخرية أو تكوينات جيولوجية معينة. ومن المعروف أن سرعة انتشار الموجات الزلزالية تبلغ نحو 5500 قدم/ ثانية في الرواسب الفتاتية، وترتفع إلى أكثر من 23000 قدم/ ثانية في بعض الصخور النارية، وبذلك يسهل تحديد عمق الحوض الرسوبي وشكله برسم خريطة صخور القاعدة التي تتراكم عليها الصخور الرسوبية.

- طريقة الجاذبية

تعتمد طريقة البحث بالجاذبية، في حدود الأميال الأولى القليلة من سطح الأرض، على قياس التغييرات الصغيرة في جذب الصخور للأجسام والكتل فوق سطحها، إذ تختلف قوى الجذب من مكان لآخر طبقا لاختلاف كثافات الصخور تحت سطح الأرض، لأن الجاذبية تتناسب طرديا مع الكتل الجاذبة، وعكسيا مع مربع المسافة إليها. وإذا كانت الطبقات الأعلى كثافة مقوسة إلى أعلى في تركيب مرتفع مثل الطية المحدبة فإن مجال الجاذبية الأرضية يكون فوق محور الطية أكبر منه على طول أجنابها، كما أن القبة الملحية، الأقل كثافة من الصخور التي اخترقتها، يمكن اكتشافها من القيمة الصغيرة للجاذبية المقاسة فوقها بالمقارنة بقيمة الجاذبية على أي من الجانبين. ولابد لقياس التغير الطفيف في قيمة الجاذبية من مكان لآخر من أجهزة ذات حساسية عالية، لدرجة أنها تسجل التغيرات في الجاذبية لجزء في



المليون من عجلة الجاذبية الأرضية، وتسمى الجرافيمترات Gravimeters، وهي أداة رسم خريطة تغيرات الجاذبية في منطقة البحث عن النفط التي يمكن من خلالها ترجيح وجود تراكيب جيولوجية معينة مثل الفوالق والطيات، أو تداخل صخور القاعدة ذات الكثافة العالية في صخور رسوبية ذات كثافة أقل. وبصفة عامة يستفاد من طريقة الجاذبية في تحديد الأحواض الرسوبية، وامتدادها وسمكها، باعتبار أن كثافة صخور القاعدة أعلى من كثافة الطبقات المترسبة فوقها، وكذا في تحديد أماكن القباب الملحية، والشعاب المرجانية الجيرية Limestone Reefs، والطيات المحدبة ثم في تعيين الحدود الفاصلة بين الكتل الصخرية ذات الكثافات المختلفة. ومع ذلك يجب أن نسلم بأن الصخور الخازنة ليست متجانسة في خواصها مما يقتضي استخدام طرق أخرى للمسح الجيوفيزيائي لتكوين صورة متكاملة ودقيقة للخزان النفطي من خلال استكمال بالمسح الزلزالي والحفر الاستكشافي. وقد استخدمت طريقة الجاذبية في تحديد أماكن القباب الملحية في ساحل خليج المكسيك بالولايات المتحدة الأمريكية، وفي الكشف عن التراكيب المحدبة في وسط القارة الأمريكية التي تعد مكامن محتملة للسوائل الهيدروكربونية.

- الطريقة المغناطيسية

يستخدم المسح المغناطيسي لقياس التغير في شدة المجال المغناطيسي للأرض من مكان لآخر بسبب اختلاف التراكيب الجيولوجية والتغيرات الطبوغرافية لأسطح صخور القاعدة والتأثيرية المغناطيسية Magnetic Susceptibility لهذه الصخور، أو الصخور النارية أو المتحولة التي تحتوي في العادة على نسب أعلى من معدن الحديد المغنط (المجنتيت) Magnetite ذي الخواص المغناطيسية، أو الصخور القريبة من سطح الأرض. وتستخدم المغناطومترات Magnetometers في المسح المغناطيسي على الأرض، ومن الطائرة أو السفن وبخاصة لتحديد سمك الطبقات الرسوبية الخازنة للنفط أو المعادن المغناطيسية. وحديثاً تستخدم الأقمار الصناعية في رسم الخرائط الكنتورية للتغيرات في شدة المجال المغناطيسي لتحديد التراكيب الجيولوجية في مناطق المسح المغناطيسي، وبخاصة أماكن



الطيات والصدوع في القشرة الأرضية المرجح وجود تجمعات النفط بها، وحساب أعماق صخور القاعدة بما يساعد في تقدير سمك وامتداد الطبقات الرسوبية وامتدادها، وكذا التعرف على تداخلات الصخور النارية بين هذه الطبقات الرسوبية. وقد ساعدت الطريقة المغناطيسية على اكتشاف حقول نفط عديدة في المملكة العربية السعودية، ومنها حقول الحوطة والدلم عام 1989م، والرغيب والنعيم والحلوة والهزمية والغينة في المنطقة الوسطى عام 1990م، ثم حقل مدين على الساحل الشمالي للبحر الأحمر عام 1993م.

- الطريقة الكهربائية

تعتمد هذه الطريقة على اختلاف قياسات المقاومة النوعية الكهربية بين شتى أنواع الصخور، وبخاصة بين الملح والرسوبيات، ويسهل باستخدامها تحديد عمق صخور القاعدة بفضل ارتفاع قيم المقاومة النوعية لها. وإذا كانت التباينات في الخواص الكهربية للصخور الرسوبية محدودة، فإن الصخور الجيرية الكتلية والأنهيدريت تتميز بمقاوماتها النوعية العالية. كذلك تستخدم طريقة الجهد الذاتي لإجراء قياسات على السطح بالميللي فولت للجهود الكهروكيميائية الناشئة في الأرض بالتفاعل الكيميائي الكهربي بين بعض المعادن والمحاليل ذات الخصائص الكهربية المتلامسة معها.

6-8 الدراسات الجيوكيميائية

تتم هذه الدراسات في الطريقة المباشرة للبحث عن النفط أثناء مرحلة الحفر الأولى ولا سيما إذا وجدت شواهد نفطية على سطح الأرض، نتيجة هجرة بعض الهيدروكربونات من مكمن للنفط أو الغاز الطبيعي تحت ضغط مرتفع نسبيا وتسربها إلى السطح. وتهدف الدراسات الجيوكيميائية إلى تحديد الطبقات القادرة على توليد النفط والصخور الخازنة للنفط وتحديد أنواع الهيدروكربونات الموجودة من بترول أو غاز أو مكثفات. وتبدأ الدراسات الجيوكيميائية بالدراسات السطحية التي تشمل قياس كمية الغازات الممتصة على حبيبات التربة أو حبيبات الصخور تحت السطحية القريبة من سطح الأرض، وقياس الاشعاع الصادر من التربة المعروف بالوميض الضوئي Fluorescence، ومحاولة تحديد أنواع البكتريا



التـي تعيش وتنمو مع مختلف أنواع الهيدروكربونات، وإجراء المسـح الإشـعاعي لتتبع هجرة الهيدروكربونات. وتتعدد الدراسـات تحت السـطحية، وتبدأ بتحديد كمية الكربون العضوي في الصـخور والتي تتراوح بين 2%، 10% في الصـخور المولدة للنفط في الحقول العملاقة، والتحليل الغازي لسـائل وطين الحفر وفتاته (Mud Logging) كما تشـمل تحديد السحنة الحرارية، حيث لون الكيروجين في الطفل الصـفحي يتغير من الأصـفر إلى البني البرتقالي ثم الأسـود مع زيادة درجة الحرارة، وهذا التغير اللوني يعتبر من دلائل وجود النفط والغاز. وتسـاعد الدراسـات الجيوكيميائية على تقييم أحواض الترسيب، وترجيح احتمالات تواجد تجمعات النفط والغاز التي أسفرت عنها طرق المسح الجيوفيزيائي، وتقدير أعماق الصخور المولدة والخازنة والحابسـة، ونوعيات المصـائد النفطية، وهي تخدم مباشرة اختيار أماكن الحفر.

7-8 الحفر الاستكشافي

يلي المسح الجيوفيزيائي والدراسات الجيوكيميائية التي تقود إلى تحديد أنسب الأماكن التـي يرجح أن تكـون حقولا منتجـة، عمليات الحفر الإستكشـافي، ويبدأ بحفـر أولى الآبار الاسـتطلاعية التي تسمى بئر استكشـافية Wild Cat Well، طبقا لتقدير علمي دقيق لموقع الحفـر والأعمـاق المطلوب الوصـول إليها، وأنـواع الأجهزة التي تسـتخدم في تجويف البئر، ثم تسـجل النتائج في وثيقة سـجل البئر Well Logging، والتي تشـمل تحديد أنواع وسمك الطبقـات وسـمكها، وتقديـر أعمـار الصـخور طبقا للحفريـات الموجـودة في كل طبقة إلى جانب قياسـات المقاومة الكهربية والنشاط الإشـعاعي وانتشار الموجات الصوتية، والكثافة، وتستكمل بالصفات الطبيعية مثل المسامية والنفاذية، والخصائص الكيميائية. وتتم متابعة تحليل العينات الجوفية خلال حفر البئر الاستكشـافي بهدف معرفة وتحديد تتابع الطبقات للصـخور الرسـوبية في الحقول النفطية المنتظـرة. وعادة تحفر البئر الاستكشـافية الأولى علـى قمة التركيب الجيولوجي المراد استكشـافه، أو على الموقـع المقدر نظريا أن يحقق أكبر إنتـاج ممكـن. ويراعى ما أمكن ذلك أن يكون انبوب البئر رأسـيا، واختبـار زاوية ميله كلما تعمق الحفر لإجراء التصـحيحات المطلوبة عند الضـرورة. ومع أن البئر الاكتشـافية الأولى



تعطي الدليل على وجود النفط، وتركيب المكمن النفطي، وأعماق الطبقات الحاوية للزيت من سطح الأرض وخواصها، إلا أن تحديد الحقل النفطي وحساب كميات النفط المنتظر إنتاجها وتقدير الاحتياطي المرجح من النفط في الحقل يتطلب حفر آبار تطويرية أخرى حول البئر الأولى. ويجري في حالات عديدة حفر الآبار العميقة في الأماكن الملائمة لتجمع النفط أو الغاز لدراسة التركيب الجيولوجي والظروف الهيدرولوجية لتكوين الطبقات الرسوبية، وكذا "الآبار البارامترية" لتدقيق المعلومات عن التراكيب الجيولوجية للصخور في منطقة البحوث الاستكشافية.

8-7-1 تسجيلات الآبار

هي طريقة واسعة الاستخدام قبل حفر آبار النفط وأثناء حفرها، وبعدها، وذلك لتحديد الخواص البتروفيزيائية المختلفة للطبقات تحت سطح الأرض، من خلال إنزال أجهزة قياس متنوعة في الآبار لتحديد المقاومة النوعية الكهربية، والجهد الذاتي، والسرعة الصوتية، والكثافة، والخواص المغناطيسية، وإطلاق أشعة وفوتونات جاما الطبيعية، أو توليد أشعة جاما استجابة لقذف النيوترونات. والتسجيلات الكهربية تتيح قياس المقاومة النوعية للصخور، ورسم الحدود بين الطبقات، وتحديد مناطق تدفق السوائل ودراسة المياه الجوفية وتحديد ملوحتها، وبذلك يسهل تعيين الطبقات المنفذة للسوائل والأسطح والحواف التي تحدها. والطرق الكهرومغناطيسية تكشف اختلاف الخواص التأثيرية للصخور تحت سطح الأرض. وقد استخدمت طرق المقاومة النوعية والكهرومغناطيسية الأرضية في روسيا لإعداد خرائط الطبقات الرسوبية في مراحل الاستكشاف النفطي المبكرة، وفي فرنسا استخدمت الطرق الكهربية في البحث عن المعادن الصلبة، وتتبع الطاقة الحرارية الأرضية، أما تسجيل النشاط الإشعاعي الطبيعي للصخور فيجري باستخدام أجهزة كشف إشعاعي متنوعة أيضا في الآبار. كذلك يستخدم مصدر لإشعاع النيوترونات، مثل خليط من البريليوم والراديوم، ويستقبل الإشعاع المنطلق من الصخور وقياس درجة امتصاص النيوترونات بواسطة أيونات الهيدروجين الموجودة في النفط أو الماء أو الغاز. وتفيد دراسة النشاط الإشعاعي للصخور في تعرف التراكيب الصخرية، ومدى احتوائها على سوائل وأنواع تلك السوائل ووجود الغازات



الطبيعية ومسامية الصخور، كما تستخدم أشعة جاما في الكشف عن الطفلة النفطية Oil Shales. كذلك فإن المسح الإشعاعي من أفضل طرق تعيين وتقييم رواسب المعادن المشعة تحت سطح الأرض، سواء التي تحتوي على اليورانيوم أو الثوريوم. كما تجرى تسجيلات الانتشار الصوتي لقياس سرعة سريان الموجات الصوتية في كل طبقة من الطبقات الصخرية على حدة، وتحديد الاختلاف بينها في المقاومة الصوتية Acoustic Impedance ، مما يساعد في معرفة مسامية الصخور تحت السطحية.



الفصل التاسع

التقنيات الجيوفيزيائية والجيوكيميائية

Geophysical & Geochemical Techniques

9-1 مقدمة

الجيوفيزياء هو العلم الذي يهتم بدراســة باطن الأرض بواسطة تطبيق بعض النظريات الفيزيائيــة على ســطح الأرض ، وتعتمد هــذه النظريات على قياس الاختلاف في الخواص الفيزيائيــة مثــل (الكثافــة، المرونة، التأثيرية المغناطيســية، الخاصــية الإشــعاعية ودرجة المقاوميــة للتيار الكهربياو الموصلية لكهربية) ما بين الجســم المراد استكشــافه وتكوينات الأرض المختلفة التي تحيط به في منطقة البحث ومن ثم تفســير هذه القياســات للحصــول علــى معلومات مفيــدة عن التركيب والتكوين للتربة تحت الســطحية والتي تكون ذات علاقة إما مباشــرة أو غير مباشرة مع الجسم المراد استكشــافه. اسهم علم الجيوفيزياء كثيراً في معرفــه معظــم المعلومات عن الأرض مثل تحديد الأغلفة الداخلية للكرة الأرضــية بواســطة



الموجات السيزمية الناتجة عن الزلازل ، كذلك اسهمت قياسات الجاذبية، المغناطيسية والحرارة الأرضية في تحديد البنية الداخلية للكرة الأرضية.

تطورت الطرق الجيوفيزيائية بشكل كبير في مجال النفط حيث تستخدم في تحديد مواقع حقول النفط الجديدة والغير مكتشفة من قبل. كما تطورت أيضا في مجال التعدين حيث تستخدم في تحديد مواقع مستودعات رواسب الخامات المدفونة والمياه الجوفية. حيث يتم استعمال علم الجيوفيزياء بواسطة المحترفين والمتخصصين في علم التعدين والنفط والمياه الجوفية وأيضا بواسطة المهندسين الجيولوجيين، حيث شكل هذا العلم مجال ضعيف للتطبيق قديماً ولكن زادت أهميته بشكل ملحوظ في الآونة الأخيرة وخصوصا بفضل القدرة على التخطيط وتحديد أنسب الأماكن لحفر الآبار النفطية والمياه الجوفية وأماكن التلوث أيضا.

يستخدم علم الجيوفيزياء حاليا لزيادة الكفاءة والفاعلية في استكشاف ما هو تحت-السطح بشكل أساسي. يمكن الحصول على كل المعلومات بالطرق الجيوفيزيائية السطحية حيث يمكن اشتقاقها واستنتاجها من خلال الآبار المحفورة، لكن يعيب تلك الطريقة أن عمليات الحفر تكون مكلفة وبطيئة حتى عند التعامل مع المنطقة الضحلة ذات الاهتمام والمرتبطة بالدراسات البيئية والهندسية. لذلك يتم استخدام علم الجيوفيزياء في تضبيط وملائمة تقنية برامج الحفر. كما يزودنا علم الجيوفيزياء بشكل مكاني بمعلومات متكاملة والتي قد تكون في بعض الأحيان متفوقة بدرجة ما على البيانات التي يتم الحصول عليها من خلال الآبار. للجيوفيزياء عدة فوائد منها أنها:

- تستخدم تقنيات غير تدميرية، ما يجعلها مناسبةً للاستخدام في الأماكن المأهولة كالمدن التي ينشأ فيها العديد من المشاكل الهندسية والبيئية. كما يمكن استخدامها لاستكشاف مواقع أثرية من دون تدميرها.
- ذات كفاءة عالية، إذ تعتبر وسيلةً لدراسة مساحات واسعة من البيئة تحت السطحية بسرعة.



- شاملة، إذ تستخدم طرق متعددةً من مختلف المجالات لدراسة مشكلات معقدة وإيجاد حلول لها.
- رخيصة، إذ لا تتطلب عمليات حفر أو تنقيب، ما يمكننا من الوصول لمساحات واسعة من البيئة تحت السطحية بتكلفة قليلة.
- مثبتة، إذ أن معظم الطرق المتبعة في الجيوفيزياء موجودة وقيد الاستخدام منذ أكثر من 50 عاماً.

الجدول (9-1) يوضح تفاوت الخواص الفيزيائية للصخور والمعادن وتشمل:

- الكثافة– الكتلة لوحدة الحجم. تكتشف طريقة الجاذبية التغيرات الجانبية والرأسية في الكثافة.
- القابلية المغناطيسية–كمية التمغنط في المادة المعرضة للمجال المغناطيسي. تكتشف الطريقة المغناطيسية التغيرات الأفقية والرأسية في القابلية المغناطيسية.
- سرعة الانتشار– المعدل الذي عنده ترسل الموجات الصوتية أو السيزمية إلى الأرض. مثل التغيرات الأفقية والرأسية في سرعة الموجات السيزمية تجعل الطريقة السيزمية قابلة للتطبيق في الدراسات التحت سطحية خاصة في استكشاف النفط.
- المقاومية النوعية والاستقطاب المستحث. المقاومية النوعية هي مقياس للقدرة على توصيل الكهربية، أما الاستقطاب المستحث يكون عبارة عن التغير في المقاومية النوعية المعتمدة على التردد. تكتشف الطرق الكهربية هذه التغيرات الجانبية والرأسية لما هو تحت السطح.
- الجهد الذاتي– القدرة على توليد جهد كهربي. تقيس أيضا الطرق الكهربية هذا الجهد الذاتي ليعبر عن التغيرات التحت سطحية.
- إرسال وانعكاس الموجات الكهرومغناطيسية. يكون الإشعاع الكهرومغناطيسي المرسل والمنعكس، مثل الرادار وموجات الراديو وإشعاع الموجات تحت الحمراء، قاعدة الأساس للموجات الكهرومغناطيسية لدراسة ما هو تحت السطح.



الجدول (1-9): الطرق الجيوفيزيائية المختلفة والخاصية المصاحبة لكل طريقة

الطريقة الجيوفيزيائية	الخاصية الفيزيائية
الجاذبية	الكثافة
المغناطيسية	القابلية المغناطيسية
السيزمية	السرعة السيزمية
المقاومية النوعية	المقاومية النوعية
الجهد الذاتي	فرق الجهد الطبيعي
الاستقطاب المستحث	المقاومة النوعية، السعة الكهربية
الكهرومغناطيسية	التوصيل الكهربي، الحث الكهربي
الإشعاعية	إشعاع جاما
الرادار الأرضي	سماحية العزل الكهربي، التوصيل الكهربي

إن استخدام طريقة جيوفيزيائية أو تقنية ما يعتمد على طبيعة وحجم ومقياس المشكلة قيد الدراسة. وكقاعدة عامة، تتطلب الطرق الجيوفيزيائية فروق جانبية أو رأسية في الخصائص الفيزيائية التي يتم قياسها للسماح بعمل بعض الاستنتاجات. في العادة يرجع اختلاف وعدم ثبات الخصائص الفيزيائية دائما لوجود بعض الحدود الجيولوجية. تعطى هذه القياسات الجيوفيزيائية تقدير متوسط لكل الخصائص تحت السطحية. في بعض الأحيان يتطلب تمييز أو تحديد معظم هذه الخصائص وذلك من خلال عمل قياسات داخل الآبار أو من خلال العينات الصخرية التي يتم الحصول عليها من الآبار. بشكل عام، كلما زاد عدد القياسات الجيوفيزيائية كلما أدى ذلك إلى تحديد أكثر للخصائص، لذلك وكما سنرى لاحقا، ينصح باستخدام طرق جيوفيزيائية متعددة لتقليل الغموض المتأصل في تفسير مجموعة وحيدة من البيانات.



2-9 الطرق الجيوفيزيائية

1-2-9 الطرق الكهربائية والكهروكيميائية

يستخدم الاستكشاف الكهربائي ثلاث خواص أساسية للصخور.

- **المقاومية النوعية** Resistivity: والتي تحكم كمية التيار الذى يمر خلال الصخر .
- **النشاط الكهروكيميائى للصخور** Electrochemical: ويعتمد على تركيبها المعدني وعلى التركيب والتركيز للمحاليل الالكتروليتية المذابة في المياه الجوفية حيث أن فروق الجهد الكهربائية الناتجة بالتفاعلات الكهروكيميائية تنتج نتيجة للتماس بين المعادن والمحاليل التي تكون على تماس معها. وهذا النشاط وفروق الجهد الناتجة يشكل الأساس لطرق الجهد الذاتي SP والاستقطاب المستحث IP .
- **ثابت العزل** Dielectric constant or Permittivity: يعطى معلومات عن قدرة و سعة مادة الصخر لتخزين شحنة كهربائية و يتحكم جزئيا في تجاوب تكوينات الصخر للتيارات عالية التردد و الداخلة في الأرض بوسائل توصيلية أو حثية.

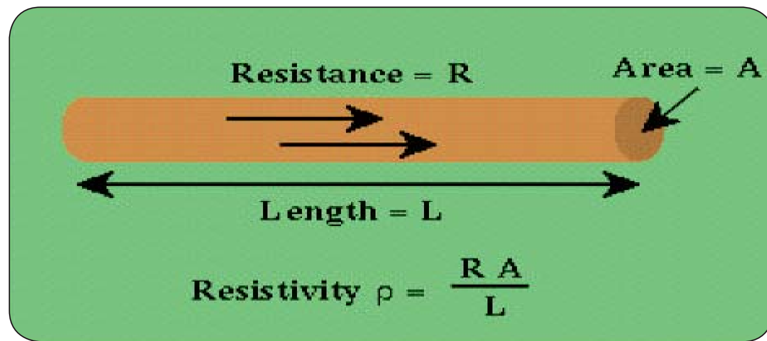
عموما تتأثر المقاومية النوعية للصخور بعدة عوامل أهمها :

- كمية الماء الموجود في مسام الصخور و هي تتناسب عكسيا مع المقاومة النوعية أي كلما زاد تشبع الصخر بالمياه قلت مقاومته لمرور التيار الكهربائي.
- ملوحة السائل المسامي و تتناسب عكسيا مع المقاومية النوعية أي كلما زادت ملوحة المياه الجوفية كلما قلت مقاومة الصخر لمرور التيار الكهربائي.
- المسامية الصخرية والنفاذية لزيادة الممرات التي تساعد على حركة الإلكتروليتات وبالتالي فهي تتناسب عكسيا مع المقاومية النوعية أي كلما زاد المسامية والنفاذية قلت مقاومة الصخر لمرور التيار الكهربائي.
- زيادة درجة حرارة الصخر تؤدي إلى انخفاض لزوجة الصخر وبالتالي حرية حركة الإلكتروليت وبالتالي زيادة التوصيلية.
- زيادة نسبة معادن الطين في الصخر تزيد من توصيلية الصخر.
- زيادة نسبة الشقوق الموجودة في الصخر والتي تعمل كممرات لحركة السوائل



9-2-1-1 طريقة المقاومية النوعية Resistivity Method

المقاومية النوعية لأي مادة تعرف على أنها مقاومة أسطوانة ذات مقطع عرضي مساحته وحدة المساحة وطول الأسطوانة وحدة الطول. لو أن مقاومة أسطوانة موصلة ذات طول L و مساحة مقطع عرضي A هي R . تكون المقاومية النوعية ρ وتقاس بوحدة الأوم – متر ohm.m حسب المعادلة:



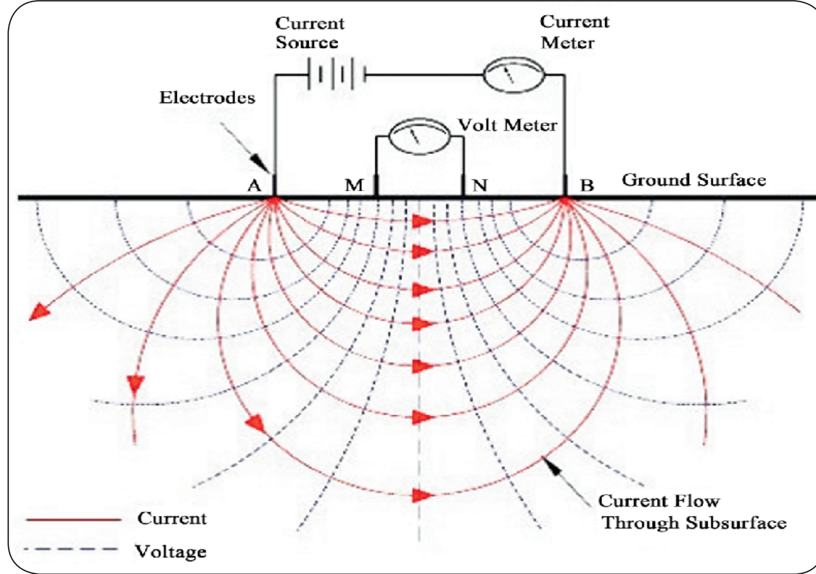
الشكل (9-1): يوضح مفهوم المقاومة النوعية

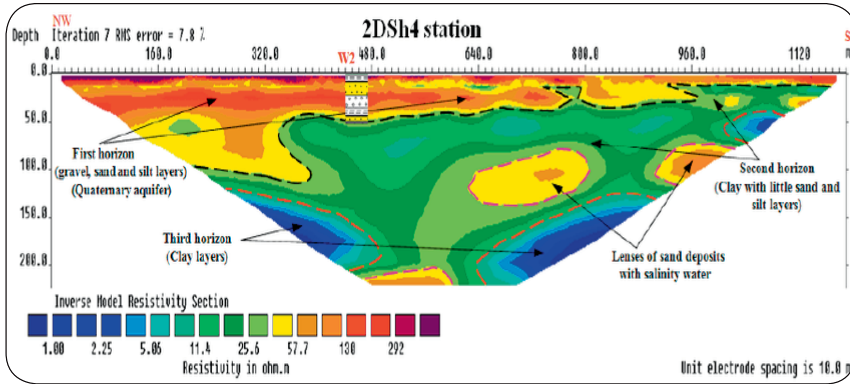
تقتصر طريقة المقاومية النوعية على استخدام تيار كهربائي ذات تردد صغير يتم حقنه داخل القشرة الأرضية بواسطة زوج من الأقطاب الكهربائية A-B. ينتقل التيار الكهربي خلال القشرة الأرضية بين هذه الأقطاب، ويتم قياس اختلاف فرق الجهد الناتج بين زوج الأقطاب M-N (الشكل 9-2). بفرض أن القشرة الأرضية تكون موحدة الخصائص، يكون فرق الجهد الناتج دليل على التغيرات الجانبية والرأسية في مستوى الموصلية الكهربية للأرض. يمكن حساب المقاومة النوعية من خلال فرق الجهد المقاس والتيار المار مع أخذ في الاعتبار المسافات بين الأقطاب. تعطي هذه المقاومية النوعية المحسوبة انعكاس لما هو تحت السطح. يمكن إجراء طريقة المقاومة الكهربية على النحو التالي:-



- يتم إنشاء بروفيل (شكل بياني) يشير إلى التغير في الموصلية الكهربية الظاهرية الكلية عند عمق معين للقياس.
- يتم تجميع قياسات على مسافات مختلفة بين الأقطاب حول نقطة مركزية لتكوين وتشكيل استطلاع كهربي رأسي ومن خلاله يتم دراسة تغير في الموصلية الكهربية مع العمق.
- أو كلاهما معا لتكوين وإنتاج صورة عن الموصلية الكهربية لما هو تحت السطح.
- تعتبر طريقة المقاومية النوعية من الطرق التي لها تطبيقات عدة. من بين هذه التطبيقات استخدامها في رسم الحدود بين الطبقات التي لها موصلية كهربية مختلفة. كذلك تم استخدام هذه الطريقة في الجيوفيزياء الهندسية لرسم الطبقات الصخرية، وفي دراسة المياه الأرضية لتحديد منسوب المياه الجوفية ومعرفة درجة ملوحة هذه المياه. وفي الآونة الأخيرة تم تطبيق هذه الطريقة في دراسة الحرارة الأرضية حيث يؤثر البخار على المقاومية النوعية للتكوينات.







الشكل (9-2): يوضح بعض أنظمة ترتيب هيئة أقطاب التيار وتفسيرنماذجها إما ثنائية وثلاثية الأبعاد

9-2-1-2 طريقة الجهد الذاتي (التلقائي) Self Potential (Spontaneous) Method

تعتبر طريقة الجهد الذاتي SP أرخص الطرق الجيوفيزيائية وهى الطريقة الوحيدة بين الطرق الكهربائية التي لا تستخدم تيار اصطناعيا يرسل داخل الأرض. وتستند هذه الطريقة على قياس فرق الجهد الذى يوجد طبيعيا وتلقائيا داخل طبقات الأرض والناتج من التفاعلات الكهروكيميائية في الصخور والخامات المطمورة ويقاس بـ (المليي فولت) كما في الشكل (9-3).

يمكن تقسيم الجهود التلقائية أو الذاتية الملحوظة في الأرض إلى أربعة أنواع:



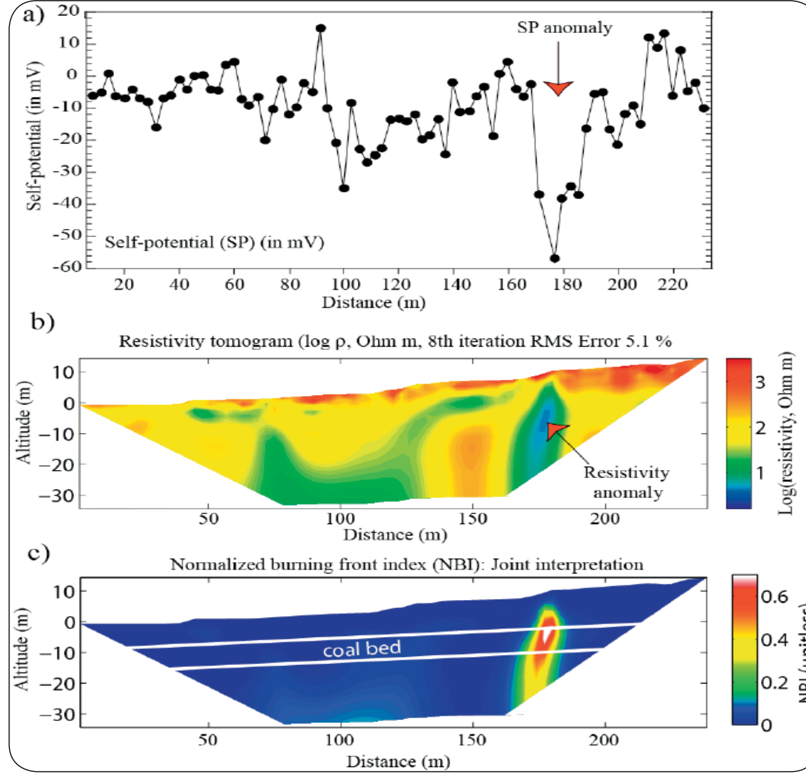
أولا : جهد التمعدن Mineralization Potential: وينشأ هذا النوع من فرق الجهد عندما يتصرف الخام المعدني مثل الكبريتيدات والجرافيت الموجود في طبقات الأرض كبطارية طبيعية لها طرف موجب و آخر سالب. ويحدث هذا عندما يقع جزء من الخام المعدني فوق مستوى المياه الجوفية وبالتالي يتأكسد سطحه بفقده إلكترونات (مكونا أيونات موجبة الشحنة) بينما يقع جزئه الآخر تحت مستوى المياه االجوفية وبالتالي يتعرض سطح المعدن للاختزال (مكونا أيونات سالبة الشحنة)، يؤدى هذا إلى سريان التيار الكهربائي من طرف الخام المعدني إلى الطرف الآخر نتيجة حركة هذه الأيونات داخل جسم الخام لكونه موصلا جيدا للكهربية، تحمل تيار من المحاليل الكهربية المؤكسدة فوق منسوب الماء الجوفي إلى مختزلات موجودة أسفلها نتيجة حركة الإلكترونات الحرة داخل جسم المعدن وبالتالي يسرى التيار الكهربائي مكونا شاذة الجهد المقاسة فوق كتلة كبريتيد أو جرافيت والتي تكون دائما سالبة .

ثانياً : جهد التشتت Diffusion Potential وهو الذي ينشأ نتيجة انتشار السوائل بين وسطين موصلين للكهربية نتيجة وجود اختلاف في تركيز الأملاح بينهما.

ثالثاً : فرق الجهد الانسيابي Potential Streaming or Electrokinetic : أو الكهروحركي وينشأ هذا الجهد نتيجة مرور السوائل ذات خواص كهربية مختلفة خلال الصخور المسامية .

رابعاً : فرق الجهد الكهربائي الحيوي Bioelectric Potential : وينشأ هذا النوع من الجهد نتيجة مرور السوائل في عملية التغذية الطبيعية في جذور النباتات.





الشكل (3-9): طريقة وتفسير معطيات الجهد الذاتي

3-1-2-9 طريقة الاستقطاب المستحث Induced Polarization Method

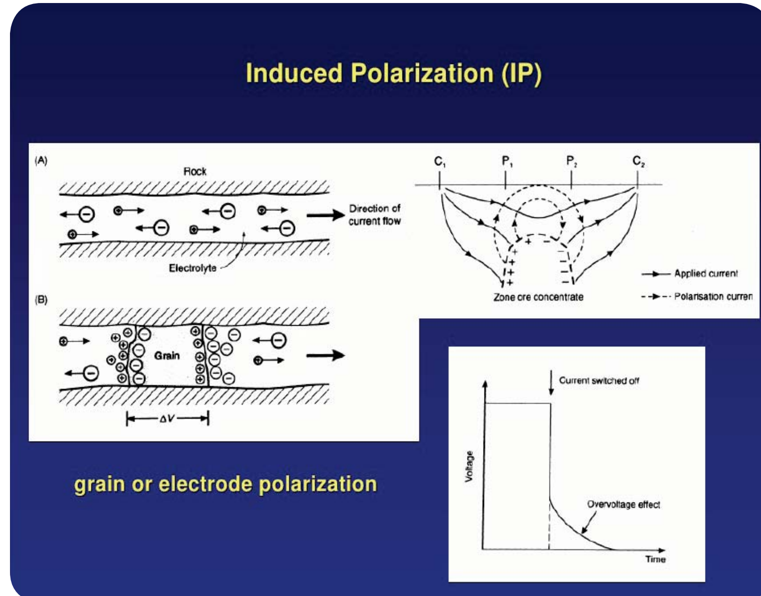
علـى الرغم من بدايـة طريقـة الاسـتقطابية المسـتحثة في الأربعينيـات إلا انها مازالت تسـتخدم على نطاق واسـع في البحث عن خامـات الكبريتيدات المبعـثرة Disseminated sulfide ores وإلى حد ما في البحث عن المياه الجوفية. أما مصـدر الاسـتقطاب المستحث في طبقات الأرض تتلخص في التالي:

1. الاستقطاب القطبي Electrode Polarization: ويصاحب هذا النوع من الاستقطاب الحثي تواجد المعادن الموصلة للكهربية. فعند مرور تيار كهربائي خلال صـخرة حاوية على معادن فلزية، فإن التوصيل الأيوني يتعوق إلى حد كبير من قبل الحبيبات المعدنية والتي يكون انسـياب التيار فيها إلكترونيا. إن ذلك يقود إلى تراكم الأيونات في الحد الفاصل بين المعدن والمحلول مؤديا إلى نموفولتية كهروكيميائية عن سطوح الحبيبات المعدنية. يحدث الاستقطاب



القطبي عندما تسد المسام الصخرية بالحبيبات المعدنية ، فإن التوصيل الأيوني يتعوق إلى حد كبير من قبل الحبيبات المعدنية والتي يكون انسـياب التيار فيها إلكترونيا. إن ذلك يقود إلى تراكم الأيونات في الحد الفاصل بين المعدن والمحلول مؤديا إلى نمو فولتية كهروكيميائية عن سطوح الحبيبات المعدنية عندما يطبق مجال كهربائي خارجي كما هو مبين بالشكل (9-4). تكون النتيجة طبقتين كهربيتين مشـحونتين على جانبي سـطح الحبيبـات المعدنية يؤدى إلى وجود جهد كهربائى يقاس من على السطح.

لوحظ أن للرواسب الحاملة للطين استقطابا مستحثا ملموسا يسمى الاستقطاب الغشائي Membrane Polarization ويسمى الاستقطاب الطبيعي Normal IP وهو يصاحب تواجد معادن الطين في الصخر حيث أن سطح جسم الطين له شحنة سالبة تجذب الأيونات الموجبة من الإلكتروليت الموجود في المسـامات. وكنتيجة لهذا التوزيع المسـتقطب للأيونات والمسـمى (بالاسـتقطاب الغشائي) ، فإن انسياب التيار يعوق، وعند توقف التيار المسلط تعيد الأيونات الموجبة توزيع نفسـها للرجوع إلى وضع التعادل. يتناقص قيمة هذا الجهد إذا زادت محتوى معادن الطين عن 10% وذلك بسبب نقص المسامية وبالتالي انخفاض التوصيلية الكهربية.



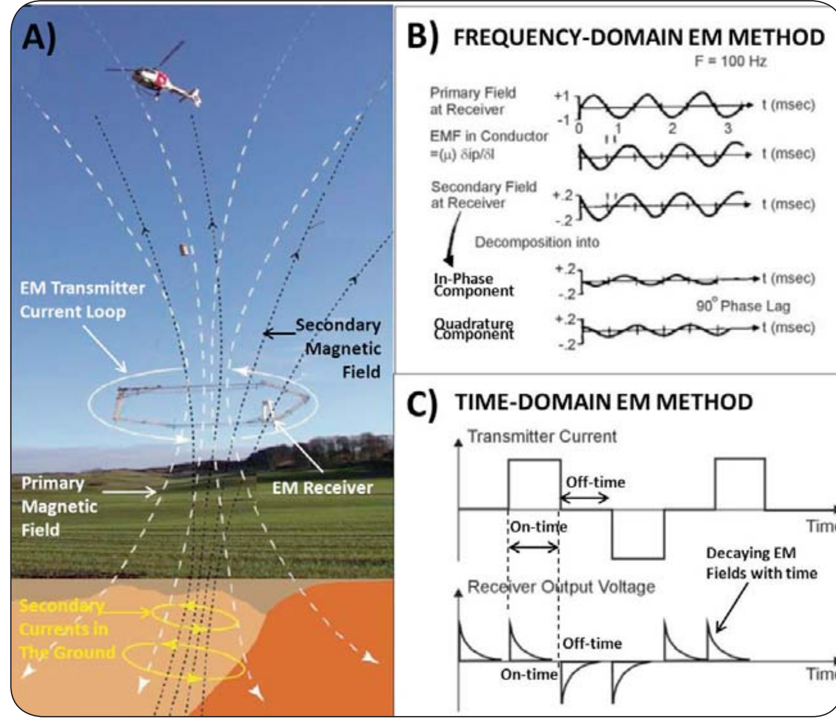
الشكل (9-4): طريقة وتفسير معطيات الاستقطاب المستحث



2-2-9 الطرق الكهرومغناطيسية Electromagnetic Methods

تعتمد هذه الطرق على تمرير تيار كهربائي متردد خلال سلك حلقي على/فوق سطح الأرض. يستحث هذا التيار تيار متدفق في المواد تحت السطحية الموصلة. يمكن الكشف عن المجال المغناطيسي المصاحب لهذا التيار بواسطة ملف مستقبل. يعطى التغير في تردد التيار المستحث تمثيل لهذه القراءات عند الأعماق المختلفة داخل الأرض. من الطرق الكهرومغناطيسية توجد الطريقة الكهرومغناطيسية للتيار العابر (Transient electromagnetic, TEM)، وفيها يتم تمرير نبضات من التيار المستمر خلال سلك حلقي كمرسل للتيار (Transmitter) موضوع على سطح الأرض كما هو موضح بالشكل (5-9) ويتم مراقبة المجال المغناطيسي من خلال مستقبل (Receiver)، حيث أن هذا المجال يضمحل ليتبع هبوط التيار الذي يتم فصله فجأة من المرسل حتى يصل إلى مرحلة الانخفاض التام. تستخدم هذه الطريقة لدراسة الموصلية لما هو تحت السطح لأعماق ضحلة، وأصبحت تستخدم أيضا في الدراسات العميقة نظرا لتطورها في الآونة الأخيرة. توجد أيضا طريقة التيار الأرضي المغناطيسي (Magnetotelluric, MT)، حيث تشمل هذه الطريقة كل من الطرق الكهربائية والمغناطيسية لقياس المجالات الكهرومغناطيسية ذات الترددات المنخفضة وفيما يلي نوجز أهم وأكثر الطرق الكهرومغناطيسية شيوعا:





الشكل (9-5): يوضح الطريقة الكهرومغناطيسية للتيار العابر

9-2-2-1 رادار الاختراق الأرضي Ground Penetrating Radar

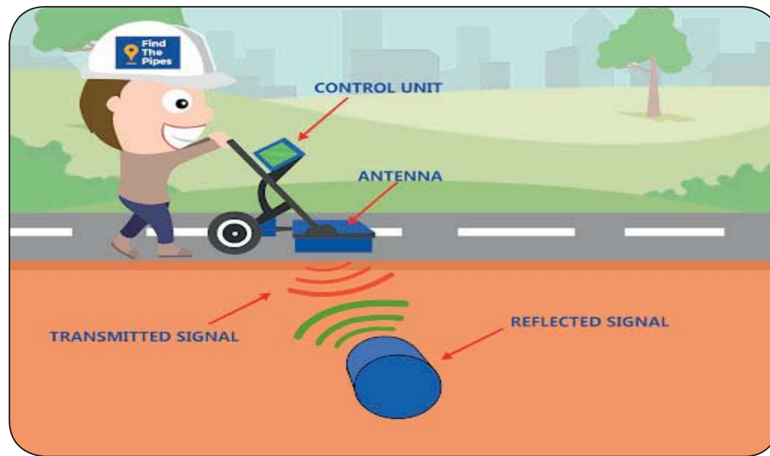
رادارالاختراق الأرضي GPR احدى طرق المسح الجيوفيزيائي التي تعتمد بصورة أساسية على ارسال موجات كهرومغناطيسية ذات طول موجي عريض يصل طولها من عدة بيكو ثانية الى عدة نانو ثانية وبترددات قصيرة جدا من جهاز رادار مرسل لهذه الأمواج من على سطح الأرض وموجهة الى باطن الأرض. ثم بعد ذلك يتم تسجيل الصدى او الأمواج المنعكسة من على الحدود الفاصلة بين الطبقات الأرضية عن طريق رادار مستلم على سطح الأرض (الشكل 9-6).

تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية في باطن الأرض انتشارا مختلفا تبعا لنوع وشكل وكثافه الطبقات الصخرية التحت سطحية. كما يعتمد على هذه الخصائص شدة الانعكاس وتشتت الموجات الكهرومغناطيسية وقابليتها على النفاذ والتغلغل خلال الطبقات الصخرية.



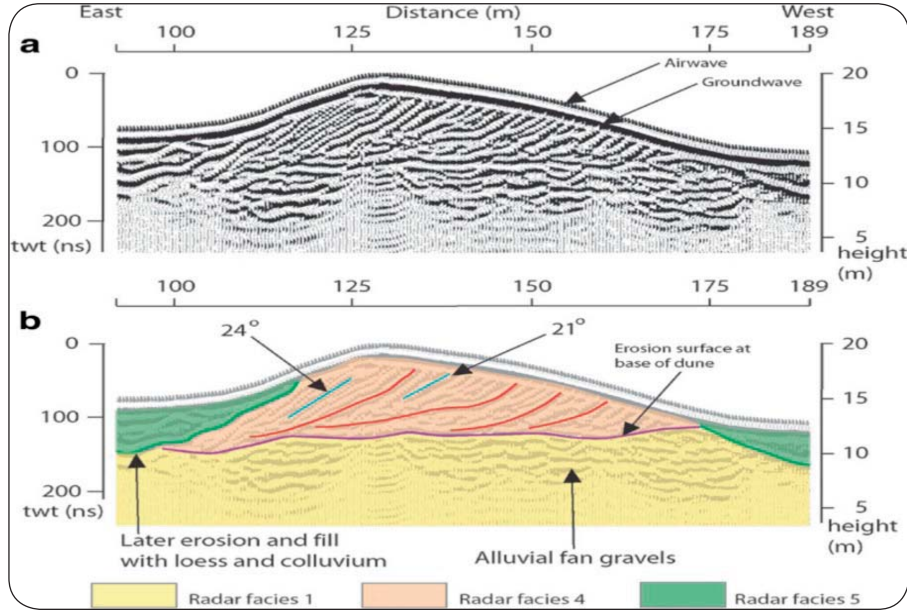
يعمـل الجهاز على تسـجيل الفترة الزمنية للانعكاس وطور الموجات ومن ثم تحليلها ورسـم مقطع عرضـي للحدود الفاصـلة بين الطبقات الصـخريةحيث يتراوح عمـق الاختراق لهذه الأمواج من بضـع امتار الى حوالي مائة متر اعتمادا على شـدة او ضـعف الترددات المرسلة الى داخل الأرض والغرض من الاستكشـاف او البحث عن الأهداف المطلوب الكشـف عنها. يسـتخدم الرادار بشكل اساسي في كشـف باطن الأرض ويعطي صور ثنائية و ثلاثية الابعاد و يسـتخدم في كشـف المعادن و الفراغات و كشـف الكنوز الاثرية. يقوم بقياس التغيرات في طبقات الأرض عن طريق قياس تسـجيل انعكاس الموجات الكهرومغناطيسـية. وفي الفيزياء الجيولوجية تساعد على قياس الطبقات الأرضية العليا لأغراض التعدين وكذلك في الأغراض العسكرية للبحث عن ألغام من مختلف الأنواع(الشكل 9-7).

يتم نقل بيانات المسح الأرضي لجهاز رادار الاختراق الأرضي مباشرة إلى جهاز كمبيوتر لوحـي بنظام الاندرويـد. تطبيق نظـام الاندرويد يتلقى بيانات المسـح الضـوئي عن طريق البلوتوث ويعرضها فورا على الشاشة . تطبيق الاندرويد هو دمج إشارة GPS لخرائط جوجل ويدعم التصـفية التلقائي بالإضـافة إلى ذلك المشـغل قادر على إدخـال ملاحظات محددة للتذكير في وقت لاحق عن تفاصـيل المسـح المحددة. بالإضـافة إلى ذلك، قدرات التصـفية التلقائية هي مفيدة لتحسـين نتائج المسـح في الميدان والعثور على الهياكل المخفية والأجسام المدفونة بسهولة أكبر .



الشكل (9-6): يوضح مكونات جهاز رادار الاختراق الأرضي





الشكل (9-7) : يوضح تفسير معطيات رادار الاختراق الأرضي

9-2-2-2 طريقة التيار الأرضي المغناطيسي Magnetotelluric method (MT)

تنتمي طريقةالتيار الأرضي المغناطيسي الى طرق الكهرومغناطيسية المعتمدة على التردد. يمكن تعريف طريقة التيار الأرضي المغناطيسي على أنها الجزء المتغير للمجال المغناطيسي الأرضي مع الزمن والذي قد يستحث تدفق من التيار داخل الأرض. مصدر مجال MT عبارة عن طاقة كهرومغناطيسية طبيعية من مصادر عابرة ذات مسافات بعيدة قادمة من الأيونوسفير والغلاف المغناطيسي (Ionosphere and Magnetosphere). يمكن الاستفادة من هذه الطاقة في حساب المقاومة النوعية داخل الأرض وبالتالي دراسة التراكيب لأعماق الأرض والتي تبدأ من عشرات من الأمتار إلى عديد من الكيلومترات. يخترق المجال المغناطيسي الأرض ليستحث مجالات كهربية ومغناطيسية ثانوية. الهدف من طريقة MT هو الحصول على معلومات مفيدة عن الموصلية النوعية لما هو تحت السطح. إن أي دالة يتم قياسها أو حسابها من خلال طريقة MT ويمكن من خلالها الحصول على معلومات عن الأرض تكون دالة لاستجابة الأرض. تعتبر البارامترات مثل المعاوقة الكهربية

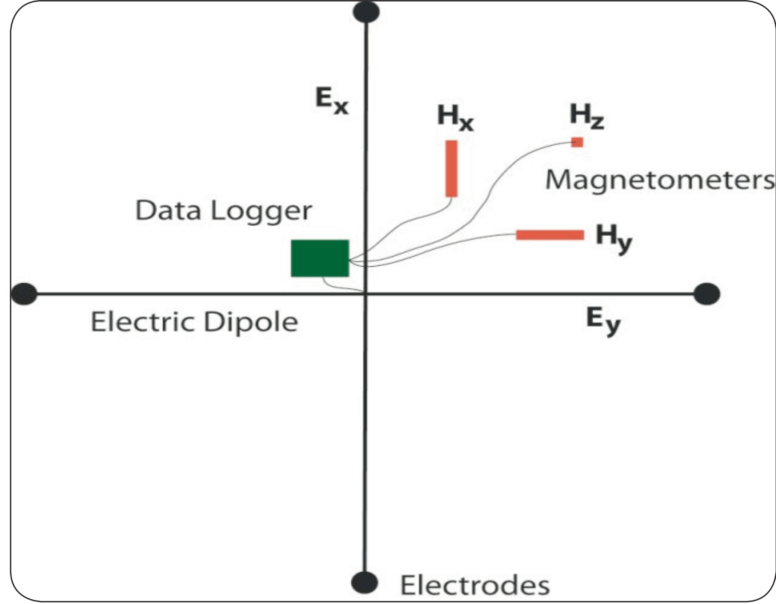


الممتدة والمقاومة الظاهرية وطور المعاوقة هم الدوال الرئيسية للحصول على معلومات عن التراكيب الأرضية.

يتم قياس المجال الكهربي في طريقة MT من خلال سلك طويل ممتد ومتصل بقطب كهربي (إلكترود) عند كل نهاية من السلك يتم من خلالهم قياس فرق الجهد. تعتمد المسافة بين هذين الإلكترو دين على شدة التيار الموجود وعلى حساسية أجهزة القياس. وحيث أنه يجب قياس المجال الكهربي في اتجاهين أفقيين متعامدين فإننا نحتاج إلى زوجين من الأقطاب الكهربية (Two electric field dipoles). في بعض الأحيان ترتب هذه الإلكترودات على شكل حرف L بمعنى أنه يكون هناك إلكترود مشترك بدلا من استخدام زوجين من الإلكترودات كما هو موضح في الشكل (8-9).

تشمل تطبيقات طريقة MT في دراسات البحث عن المياه الجوفية والدراسات الهندسية المدنية والاستكشاف المعدني وتقييم الأحواض الترسيبية من ناحية الاستكشاف النفطي وأيضا في الدراسات المرتبطة بالحرارة الأرضية. أظهرت الطريقة أيضا فعاليتها في الحصول على معلومات عن خصائص القشرة الأرضية والوشاح وفي الدراسات الجيوتكتونية والتنبؤ عن الزلازل. تعتبر طريقة MT البديل القوي للطريقة السيزمية وخاصة في المناطق التي لا تعطي فيها طريقة الانعكاس السيزمي بيانات غير جيدة مثل المناطق التي يتواجد فيها القبة الملحية أو النطاقات ذات الصخور البركانية والتي قد تؤدي إلى تشتت الطاقة السيزمية.





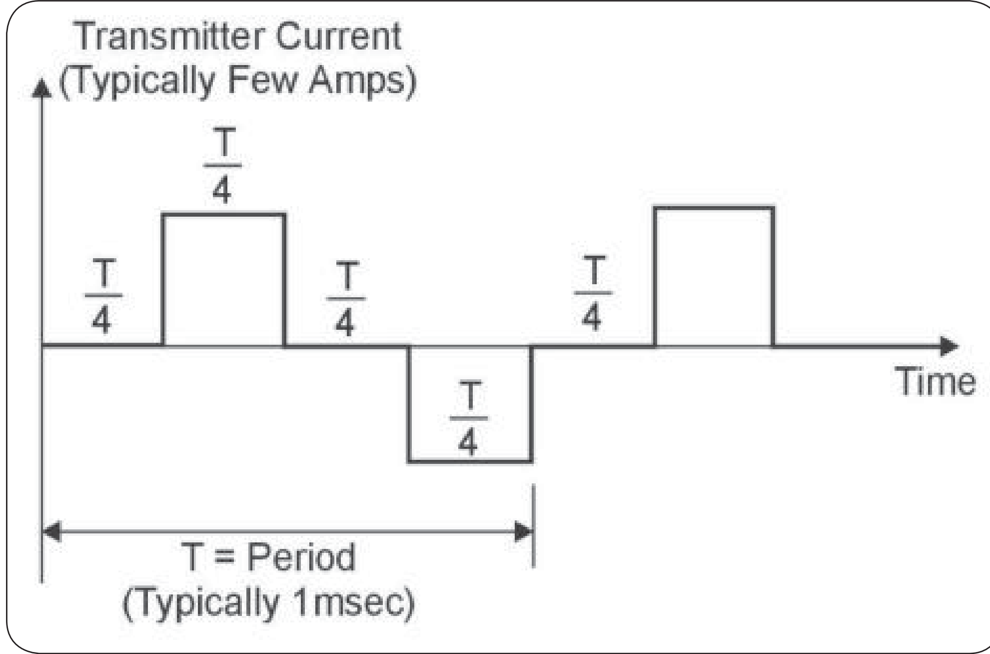
الشكل (9-8) : يوضح قياس المجال الكهربائي والمغناطيسي في طريقة MT

9-2-2-3 الطريقة الكهرومغناطيسية المعتمدة على الزمن

Time Domain Electromagnetic Method, TDEM

يتم استخدام طريقة الكهرومغناطيسية المعتمدة على الزمن بفاعلية في قياس المقاومة النوعيةالكهربية (أو معكوسها الموصلية) للأرض مقابل العمق وبالتالي يمكن الاستفادة منها في الحصول على معلومات واستطلاع رأسي عن الوضع تحت سطحي. تعتبر هذه الطريقة مكملة لطريقة المقاومة النوعية الكهربية (DC Resistivity) أو كبديل في المناطق ذات الظروف الجيولوجية التي قد يستحيل معها استخدام طريقة المقاومة النوعية الكهربية. طريقة TDEM، والتي تسمى أحيانا TEM تعتمد على الزمن ويكون تيار المرسل في صورة دورية إلا أنه يكون في صورة موجة مربعة متماثلة كما هو واضح في الشكل(9-9).





الشكل (9-9) : يوضح قياس المجال الكهرومغناطيسي المعتمد على الزمن TDEM

يتضح من هذا الشكل أنه بعد الربع الثاني من كل دورة يهبط تيار المرسل إلى الصفر لربع دورة، عند ذلك يتدفق في الاتجاه المعاكس. يمكن فهم الأسس التي بني عليها طريقة TDEM نسبيا بسهولة كالتالي. عند إختزال التيار المار في المرسل فجأة إلى صفر تستحث نبضة جهد كهربي لمدة قصيرة في الأرض طبقا لقانون فاراداى. هذا الجهد يسبب حلزونات من التيار لتتدفق في الجوار المحيط لسلك المرسل. يمر هذا التيار الناتج في الجوار على الأرض في حلقات مشابهة تماما لشكل حلقة سلك المرسل. مع ذلك وبسبب المقاومة النوعية الأرضية المحددة، تبدأ سعة التيار في الاضمحلال في الحال. يستحث هذا التيار المضمحل بنفس الطريقة نبضة جهد كهربائي التي تسبب تدفق تيار أكثر لكن في مسافة أكبر من حلقةالمرسل وأيضا عند عمق أكبر .يضمحل تدفق هذا التيار الأعمق أيضا نتيجة مقاومة الأرض المعينة مستحثا تيار متدفق لعمق أكبر وهكذا تستمر هذه العملية. يتم قياس سعة هذا التيار مقابل الزمن عن طريق قياس مجاله المغناطيسي المضمحل من خلال الملف المستقبل.



يتم استخدام طريقة TEM على مدى واسع في مجال التعدين وفي الفحوصات الجيولوجية والهيدروجيولوجية والبيئية والجيوتقنية. مع ذلك تركز معظم الدراسات السابقة على استخدامها في مجال التعدين وفي التنقيب عن المياه الجوفية وخاصة في تخريط تداخل المياه المالحة في خزانات المناطق الساحلية. طريقة TEM تكون فعالة جدا في اكتشاف التغيرات الطفيفة في المقاومة النوعية وخاصة في الأوساط ذات الموصلية النوعية العالية. هذه الخاصية جعلت الطريقة يتم تطبيقها في مجالات جديدة لها علاقة بالجيوفيزياء الهندسية والبيئية مثل اكتشاف هبوط مناطق أو تخريط مدى تلوث المياه الجوفية ومراقبة انتشار مناطق التلوث وأيضا تحديد السطح الفاصل بين المستودع أو الخزان الجوفي الحامل للماء العذب والآخر الحامل لماء البحر. يعزى هذا إلى أن المقاومة النوعية للصخر الحامل لماء البحر أقل من المقاومة النوعية للصخر الحامل للماء العذب والتي تتراوح في الأخير ما بين 20-100 أوم- متر. يعتبر المسح الجيوفيزيائي لطريقة TDEM أو TEM مع DC أنسب الطرق لتخريط الصخر المنفذ الحامل للماء العذب وأيضا الماء المالح. مع ذلك يصعب التمييز بين رسوبيات صخر الطين ذات النفاذية العالية والطبقات الرملية الحاملة لمياه البحر مستخدما طريقتي DC&TEM هذا يرجع إلى التشابه في قيم المقاومة النوعية والتي يمكن هنا الإستفاده من طريقة الإستقطاب المستحث.

4-2-2-9 الطريقة الكهرومغناطيسية ذات التردد المنخفض جدا VLF

هناك طرق كهرومغناطيسية أخرى والتي تستخدم دائما لمعرفة التغيرات الجانبية الضحلة للموصلية الأرضية. من بين هذه الأنظمة طريقة الكهرومغناطيسية ذات الترددات المنخفضة جدا VLF (Very Low Frequency method). تعتمد هذه الطريقة على الموجات الناتجة من أجهزة الإرسال العسكرية. كلما كان صدر الموجة الكهرومغناطيسية يتحرك على سطح الأرض، كلما انتشرت المجالات الكهربية والمغناطيسية داخل الأرض لأعماق ضحلة. تولد التيارات المستحثة في الموصلات مجال ثانوي يؤدى إلى أن يميل المجال المغناطيسي على السطح من الوضع الأفقي بزاوية، بقياس هذا الزاوية والتي تسمى زاوية



الميل (Tilt angle) يمكن الحصــول على معلومات عن الموصــلية لما هو تحت السـطح وعلى أعماق ضــحلة. تعتبرهذه الطريقة ســريعة في المســح الجيوفيزيائي نظرا لخفة وزن الجهاز المستخدم.

3-2-9 طريقة الجاذبية Gravity Method

يتــم فيها قياس التغيرات للجاذبية الأرضــية الناتجة عن اختلاف كثافة الصــخور مما يســاعد على معرفة التراكيب الجيولوجية المختلفة ، واســتخدمت في الثلاثينات الميلادية في الكشــف عن النفط.تتغير قوة الجاذبية بدورها مع الارتفاع، كثافة الصــخور، خط العرض، والتضــاريس. مــع ذلــك، لا تعتمد الكتلة على الجاذبيــة ولكنها تكون كمية أساســية في كافة أنحاء الكون. وكلما كانت كثافة الصــخر أعلى كلما كانت قيمة الجاذبية المســجلة أكبر مما يدل على وجود اختلافات في الطبيعة الجيولوجية وبيئة الترسـيب كما هو موضــح في الشكل (9-10).

ولقد دلت الدراسات الجيوفيزيائية الحديثة أن كثافة الصخور تزداد تدريجيًا مع ازدياد العمق حيث وجد أن مكونات الأرض في اللب (حديد و نيكل) أثقل منها في الوشاح، وفي الوشاح أثقل منها في القشرة. حيث تبلغ كثافة الصخور حوالي12جم/سم^3 في اللب بينما في الوشاح 3.5جم/ســم^3 وفي صــخور القشرة تصــل إلى 2.7 جم/سم^3.تم حســاب قيم الجاذبية عند الأقطــاب بـ 983.218 جال بينما قيســت عند خط الاســتواء بـ 978.032 جال واســتنتج ان هناك فرق قدره 5.2 جال. وهذا الفرق لا يتفق مع القيم التي تم التوصل إليها نظريًا عندما افترضــنــا أن الارض كروية الشــكل وفي حالة ســكون وتوزيع كثافتها متماثل والذي يبلغ 3.4 جال. وهذا الاختلاف يدل ما بين القيمة المحســوبة بواســطة الأجهــزة (5.2 جال) والقيمة النظرية (3.4 جال) وهذا الاختلاف يدل على أن الأرض تأخذ شــكلاً إهليجيًا أو بيضــاويًا. قــال تعــالى ﴿وَٱلۡأَرۡضَ بَعۡدَ ذَٰلِكَ دَحَىٰهَآ ٣٠﴾[النازعات الآية 30]. تزداد قيــم الجاذبية بزيادة خط العرضــ، نظراً لأن ســطح الأرض عند القطبين أقرب لمركز الأرض منه عند خط الاســتواء بمقــدار 21 كم تقريبــاً، وبالتالي فإن قيمة الجاذبية عند القطبين أكبر (بحوالي 0.7%) من



قيمة الجاذبية عند خط الاستواء. كذلك كلما زاد الارتفاع عن سطح البحر كلما ابتعدنا عن مركز الأرض، وبالتالي فإن الجاذبية تقل بنسبة 0.3086 h mgal/m حيث h تمثل الارتفاع عن مستوى البحر.

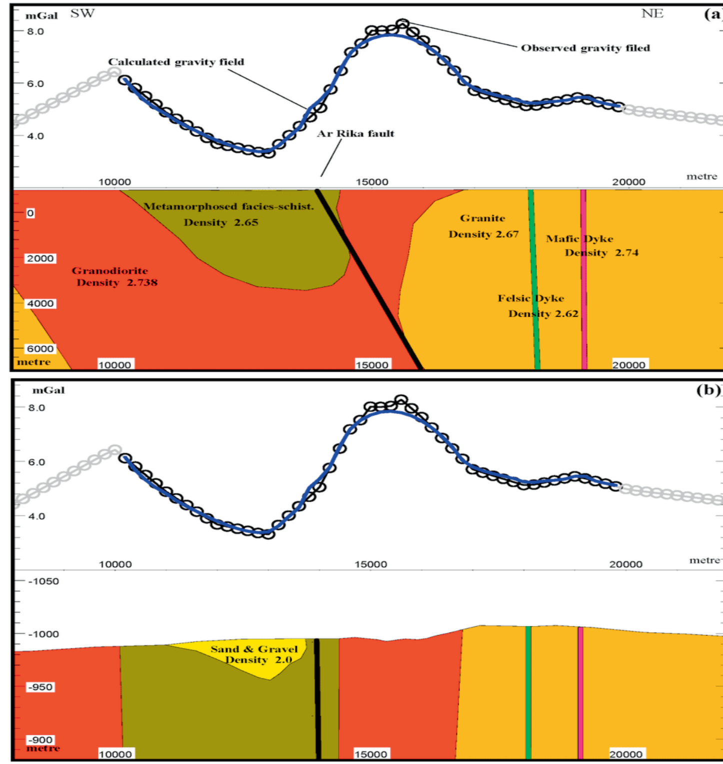
تكون قيمة g حوالي 980 سم/ث^2 عند مستوى سطح البحر. وحيث أن التغير في قيمة الجاذبية يكون نسبيا صغير، فإن الوحدة سم/ث^2 تكون كبيرة لقياس هذا التغير. لذلك يتم استخدام وحدة تسمى الميلليجال لقياس الجاذبية المتبقية والتي تساوي 1000/1 من الجال، حيث الجال عبارة عن 1سم/ث^2. يرجع اسم الجال إلى العالم جاليليو. ولأن قيمة الجاذبية المطلوبة في التطبيقات الجيولوجية والمساحية تتفاوت دقتها من ±0.05 مليجال إلى ±0.03 مليجال، ونظراً لصغر هذه القيمة فان أجهزة الجرافيميتر يجب أن تكون دقيقة جداً في تصميمها وطرق عملها. هناك طريقتان لقياس قيمة الجاذبية في أي نقطة على سطح الأرض وهما الجاذبية المطلقة والجاذبية النسبية (الطرق الديناميكية)، وكلاهما يتطلب دقة عالية في القراءات المرصودة باستخدام اجهزة الجاذبية المطورة. يطلق عليها الجرافيميتر Gravimeters وهي عبارة عن جهاز صغير وسهل الانتقال من نقطة لأخرى في موقع الرصد. وتعتمد فكرته على سلك زنبركي متعادل يتغير تعادله (توازنه) بتأثير أى قوة إضافية مهما صغرت قيمتها ويمكن قياس مقدار التغير الذي يحدث ومن مميزات جهاز الجرافيميتر سهولته وصغر حجمه وسرعة القراءة ودقته وتنقسم أجهزة الجرافيميتر إلى :

أولاً: الساكن Stable

ثانياً: الغير الساكن Unstable.

اجهزة قياس الجاذبية هي اتزان زنبركي متطور يعلق في اخره كتله ثابتة. وزن الكتلة هي حاصل ضرب الكتلة في تسارع الجاذبية (عجلة الجاذبية الأرضية) كلما زاد الوزن الذي يعمل على الزنبرك ، فإن كمية الاستطالة في الزنبرك تتناسب طرديا مع قوة التمدد أي مع زيادة وزن الكتلة (الوزن يساوي الكتلة ضرب عجلة الجاذبية الأرضية). ثابت التناسب هو ثابت مرونة الزنبرك K هذه العلاقة تعرف بقانون هوك Hook. وحيث أن الكتلة ثابتة ،

فإن التغيرات في الوزن يكون سببها التغيرات في الجاذبية δg وبقياس التمدد في الزنبرك δl يمكن تحديد اختلافات الجاذبية . وبما ان الاختلافات في الجاذبية صغيرة جدا فان التمدد في أي زنبرك صغير للغاية.

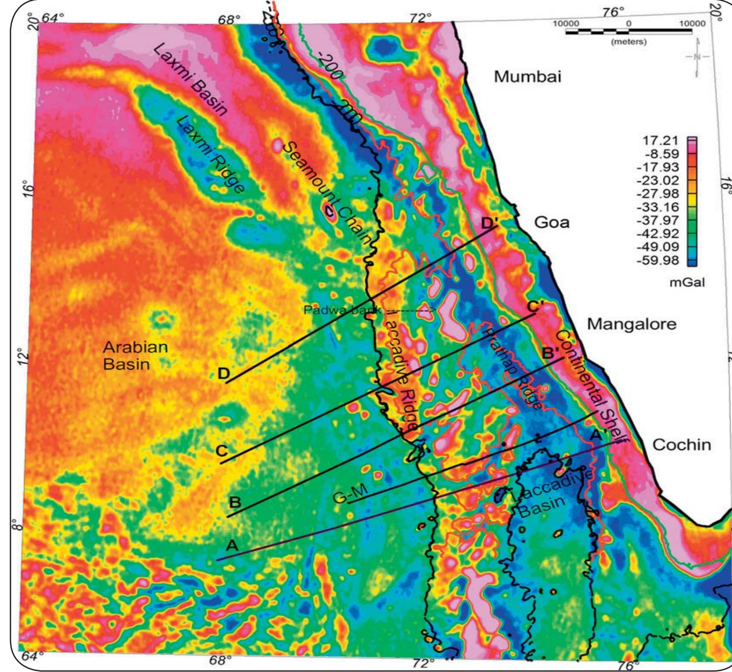


الشكل (9-10): يوضح طريقة الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها

يستخدم جهاز يسمى جرافيميتر لقياس g عند محطات على مسافة متساوية تقريبا فوق منطقة المسح الجيوفيزيائي. يتم تصحيح القراءات من تأثير الارتفاع، خط العرض، والتضاريس. يتم طرح قيمة g الطبيعية من القراءات المصححة لينتج قيمة الجاذبية المتبقية. يتم توقيع قيمة الجاذبية المتبقية عند مواقع المحطة ليتم إعداد خريطة كنتورية ممثلة لخريطة الجاذبية المتبقية. تظهر شاذات الجاذبية على هيئة خطوط كنتور مغلقة والتي يمكن استخدامها في استنتاج التراكيب الجيولوجية تحت سطحية.يبين الشكل (9-11) مثال لخريطة الجاذبية في شكلها النهائي مستخدما فارق كنتوري 1 ميلليجال. يتم



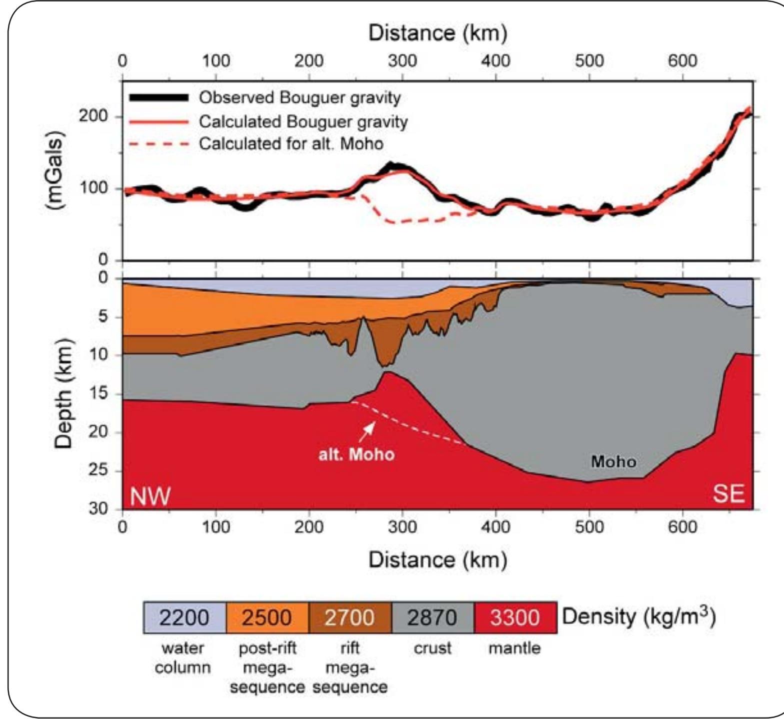
تفسـير بيانات الجاذبية بمقارنة شـكل وحجم هذه الشـاذات إلى تلك المسببة بأشكال ذات أشكال هندسية مختلفة عند أعماق وكثافات مختلفة.



الشكل (9-11) : يوضح مثال لخارطة الجاذبية الأرضية مصححة لشاذة الهواء الحر

بينما المقطع التحت سـطحي للقشرة الأرضية والجزء العلوي من الوشاح وانقطاع موهو في الشكل (9-12) يوضح توزيع تقريبي لقيم الجاذبية الأرضية لشاذة بوجير.





الشكل (12-9)يوضح توزيع قيم الجاذبية الأرضية لشاذة بوجير الى عمق 30 كم تحت سطح الأرض

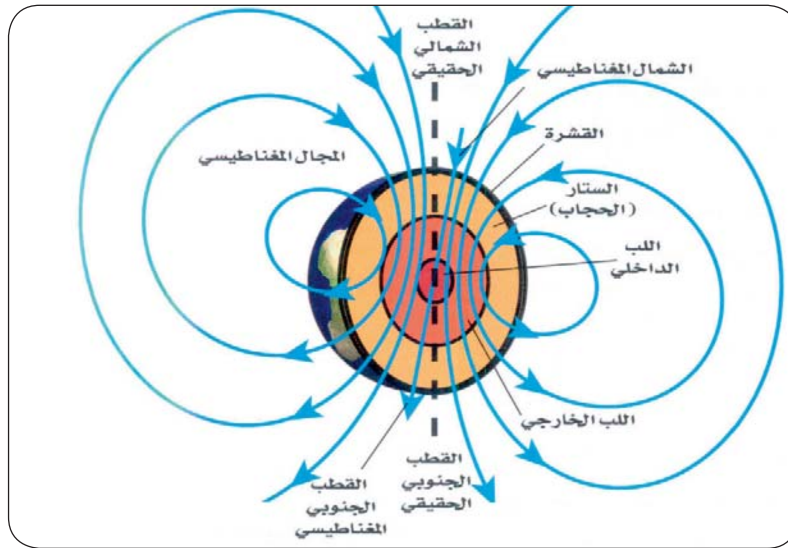
4-2-9 طريقة المغناطيسية Magnetic Method

يتـم فيهـا قياس التغـير في المجال المغناطيسي للأرض الناتج من اختـلاف الخواص المغناطيسية (التأثرية المغناطيسية) للصخور والتراكيب ، وتستخدم في تحديد الأحواض الرسوبية وفي البحث عن خامات المعادن ذات الخواص المغناطيسية.

تعتمـد طريقة المغناطيسية على المجال المغنطيسي الناتج من اللـب الخارجي للأرض والمتكـون من الحديد والنيكل المنصـهر. تـؤدي تيارات الحمل الحـراري في اللب إلى حركة الجزيئات المشـحونة في الموصـل مولدة مجال مغناطيسي. يسـلك المجال كما هو معتقد أن هناك قطب مغناطيسي شمالي في نصف الكرة الجنوبي وقطب مغناطيسي جنوبي في نصف الكرة الشـمالي. مع ذلك لا يتوافق محور الأقطاب المغناطيسية للأرض مع محور الأقطاب الجغرافية. يقع حاليا المجال المغناطيسي الشمالي عند المقاطعات الشمالية الغربية الكندية،



شـمال غرب خليج هدسـون (Hudson Bay) و يكـون القطب المغناطيسـي الجنوبي قرب حافة القارة القطبية الجنوبية. كما هو ملاحظ تكون مواقع الأقطاب المغناطيسية غير ثابتة ولكنها تتغير بشـكل ثابت. تنحرف الأقطاب المغناطيسية نحو الغرب بمعدل 19-24 كيلومتر في السنة. ونتيجة لإزاحة الأقطاب فإن هناك تغير في اتجاه المجال، يشار إليها تغيرات بطيئة والتي تحدث كل فترة دورية متكررة تقدر بـ 960 سـنة. هذا بالإضـافة إلى أن هناك تغيرات سـنوية، نهارية أو يومية. يمكن وصف المجال المغناطيسـي على أنه خطوط مغناطيسية لقوة عـبر مرئيـة. يعتقد بأن هذه الخطـوط تتدفق من القطب المغناطيسـي الجنوبي إلى القطب المغناطيسـي الشـمالي. لذلك نجد إبرة البوصلة ترتب نفسـها على طول الخط المغناطيسي للقوة التي تمر من خلاله. إذا تركت إبرة البوصلة حرة الحركة رأسيا وأفقيا، فإنها يجب أن تتجه رأسيا لأسفل تجاه القطب المغناطيسي الشمالي، رأسيا لأعلي تجاه القطب المغناطيسي الجنوبي وعند زاوية متوسطة بعيدا عن الأقطاب المغناطيسية. يوضح الشكل (9-13) المجال المغناطيسي الأرضي. ترتب إبرة البوصلة نفسها على طول خط القوة مارا خلالها.



الشكل (9-13): المجال المغناطيسي الأرضي



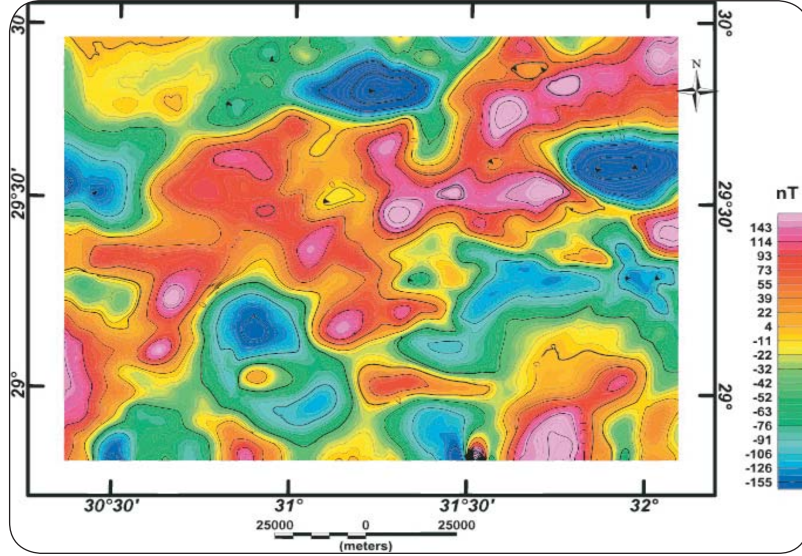
بالإضافة إلى هذه التغيرات المعروفة في المجال المغناطيسي، هناك تغيرات محلية تحدث وخاصة عندما تتواجد صخور القاعدة قريبة من السطح، حيث تزداد تركيز المعادن الحديدية عالية النفاذية المغناطيسية. لذلك، تتركز التطبيقات الأساسية لطريقة المغناطيسية في تخريط صخور القاعدة وتحديد رواسب الخامات الحديدية ذات المغناطيسية العالية.

الأجهزة المستخدمة لقياس المجال المغناطيسي الأرضي تسمى الماجنيتوميتر. الذي يقاس في الحقيقة هو شدة أو قوة المجال المغناطيسي الأرضي. تقاس هذه القيم بالتسلا (T). وحيث أن الهدف من الطريقة المغناطيسية هو إكتشاف الإختلاف النسبي البسيط عن القيمة النظرية لشدة المغناطيسية، لذا تكون وحدة القياس هي النانوتسلا (nT) أو الجاما ($1nT = 10^{-9}T$).

يتم معظم المسح المغناطيسي حاليا بواسطة الطائرة. وحيث أن الطيران يتم تحديده من قبل فوق مسار محدد (غالبا، مجموعة من خطوط الطيران المتوازية)، لهذا يتم تسجيل المجال المغناطيسي بصورة مستمرة. يجب تصحيح قراءات المغناطيسية من التغيرات اليومية وأي أسباب أخرى معلومة قد تؤدي إلى تغير في الشدة المغناطيسية. يتم تحديد قيمة المجال المتبقي بطرح القيم النظرية لمنطقة المسح من قراءات الماجنيتوميتر المصححة. يتم توقيع القيم المتبقية على خريطة ليتم رسم خطوط كنتور، كل خط ذات قيم جاما المتساوية (الشكل 9-14).

تشير خطوط الكنتور المغلقة إلى شاذة مغناطيسية مسببة بواسطة أجسام محلية ذات مغناطيسية عالية أو أعماق شاذة لصخور القاعدة. تفسير البيانات يكون مشابه لتفسير بيانات الجاذبية باستثناء أن الأجسام ذات الأشكال الهندسية المختلفة عند أعماق متباينة تختلف في القابلية المغناطيسية بالأحرى عن الكثافة.





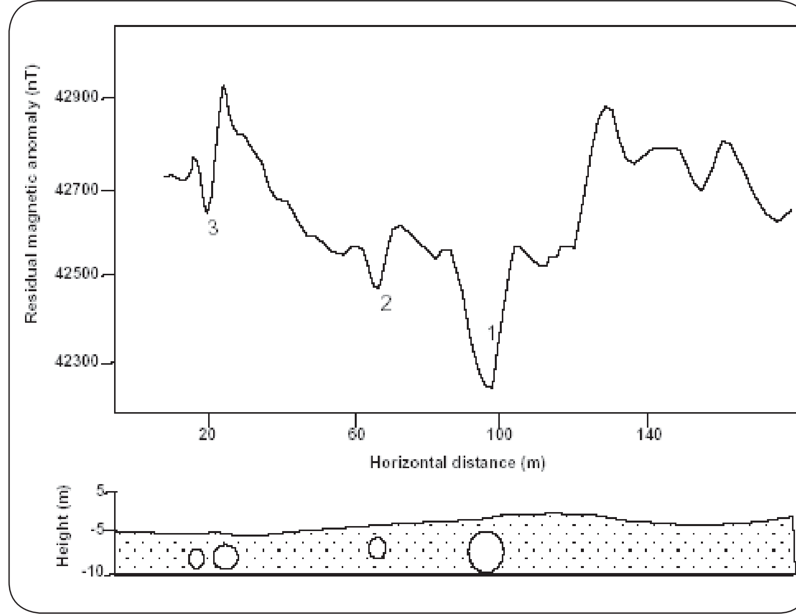
الشكل (9-14): خارطة مغناطيسية جوية مختزلة للقطب RTP

9-2-4-1 المسح المغناطيسي الجوي Aeromagnetic survey

عادة يتم تنفيذ المسح المغناطيسي الجوي من خلال أجهزة المغناطيسية وذلك بوضع الجهاز على هيئة طائر وسحبه خلف الطائرة. هذا النوع من المسح يتم من خلاله مسح مناطق ذات مساحات كبيرة في أوقات وجيزة. إن تحديد اتجاه خط المسح بواسطة الطائرة يعتبر من أهم العوامل المؤثرة على شكل البروفيل المغناطيسي الممثل للشاذة.

هناك ثلاث عوامل تتحكم في اتجاه المسح بالطائرة وهم الوضع الجيولوجي التركيبي للحبيبات الصخرية، مغناطيسية صخور القاعدة (Basement)، وميل المجال المغناطيسي الأرضي. يمكن الحصول على أحسن نتائج للمسح المغناطيسي الجوي من خلال الطيران أثناء المسح في اتجاه عمودي على الوضع التركيبي والشاذة المغنطة. مثل هذا النوع من البيانات يتم تسجيله في صورة رقمية لإنتاج خرائط كنتورية أوتوماتيكيا. قد تتواجد هذه الخرائط في صورة ملونة لتمييز الظواهر المدفونة والتي يتم البحث عنها كما هو موضح بالشكل (9-15).





الشكل (9-15): يبين مسح مغناطيسي فوق أنابيب مدفونة

9-2-5 الطرق السيزمية Seismic Methods

المسح السيزمي Seismology أو المسح الزلزالي، هو احدى طرق جيوفيزياء التنقيب التي تستخدم أساسيات علم الزلازل لتقدير خصائص أعماق الأرض عن طريق الموجات الزلزالية المنعكسة أو المنكسرة. تبعث هذه الطريقة مصدر زلزالي ينشأ بواسطة الطاقة، مثل الديناميت/التوفكس، أو هزاز زلزالي Vibroseis. قام العالم بالميير لتطوير أول جهاز "السيزموجراف" في عام 1855. يستخدم جهاز السيزموجراف لاكتشاف وتسجيل الزلازل. يلتقط هذا الجهاز الاهتزازات الأرضية التي تحدث أثناء الزلازل. مع ذلك هذا لم يكن حتى عام 1921 حيث أن هذه التقنية كانت تستخدم للمساعدة في تحديد مكان النفط تحت الأرض. يعتمد المسح الاهتزازي الانعكاسي (Reflection survey) على إرسال موجة اهتزازية(Seismic wave) يتم توليدها على سطح الأرض إلى باطن الأرض فترتد بطريقة الانعكاس (Reflection) على السطوح الفاصلة(Horizons) للطبقات الجيولوجية وعن أي متغير ليثولوجي أو جيولوجي، ويجري قياس الزمن اللازم للارتداد أو



الانعكاس إلى السطح (زمن الانتشار Travel time) حيث يحدد هذا الزمن عمق الطبقات التــي ترتــد منها الأمواج ويمكن أيضــا معرفة أنواع الصــخور، إذ أن لكل نوع من الصــخور الواقعة تحت سطح الأرض سرعة انتشار مختلفة والتي يمكن حسابها من العلاقة :

$$V = Z / T \qquad (9-1)$$

حيث Z المسافة أو العمق و V السرعة و T الزمن اللازم

تنقسم الطرق السيزمية عموما إلى قسمين كما هو موضح بالشكل(9-16) كالتالي:

1 - انكســارية Refraction Seismology : وهــذه الطريقــة تعتمــد علــى دراســة زمن أولى الموجات وصــولاً وربطها بالمســافات بين المستقبلات التي تســتقبلها ، أما بقية البيانات فلا نحتاج إليها في الطريقةالانكســارية ، من هذه الطريقة نســتطيع التعرف على التغير في الصــخور مع العمق ، كما نســتطيع معرفة ســرعة الموجات خلال مرورها بالأوساط المختلفة حيث تعتمد على معاملات المرونة elastic parameters لهذه الأوساط .

2 - انعكاســية Reflection Seismology : وهــذه تعتمد على تحليل الطاقة التي تصــل بعد الحركة الأرضية الأولى وبصفة عامة فهذا التحليل يركز على دراسة الموجات المنعكسة، يشبه الأمر دراسة الموجات الصوتية المنعكسة في أجهزة السونار . أيضاً هذه الطريقة تعطينا معلومــات عن نفس الطبقة الصــخرية التي تمر بها في حين ان الطريقة الانكســارية تعطينا معلومات عن الحدود الفاصلة بين الطبقات ومعاملات المرونة للطبقات.

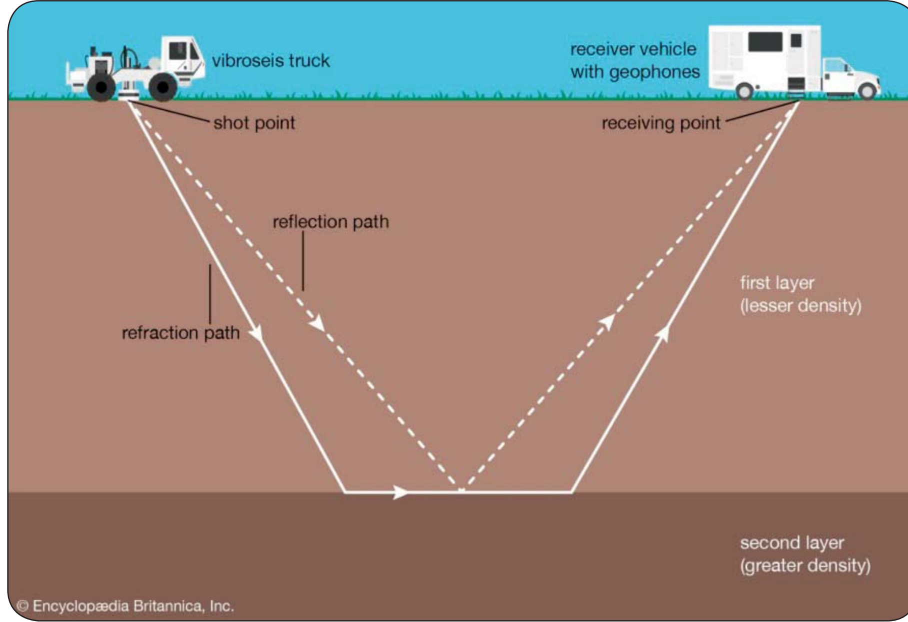
يعطينا المسح السّيزميّ (الزلزاليّ) الصورة الواضحة عن الطبقات الجيولوجيّة الواقعة تحت ســطح الأرض، وعن امتدادها واســتمراريّتها.ويتمّ المســح باســتخدام مصادر للطاقة لإرســال موجات صــوتيّة إلى باطن الأرض، وتعكس هذه الطبقات الجوفيّة تلك الموجات إلى السطح، حيث يتمّ التقاطها بصورة إشارات كهربائيّة يجري تضخيمها ونقلها إلى مسجلات رقميّة، وبعدها تُحفظ هذه البيانات على أشرطة مسح زلزاليّ بواسطة الكومبيوتر للحصول على مقطع زلزاليّ، وبواســطة أســاليب معالجة متقدّمة تقنيًّا.واعتمادًا على ســرعة الأمواج

الزلزاليّة وزمن وصولها، يمكن الحصول على تصوير مجسم ذي بعدين اثنين أو ثلاثة أبعاد، من أجلِ استخدامه في تحديد ملامح التشكيلات والطبقات.

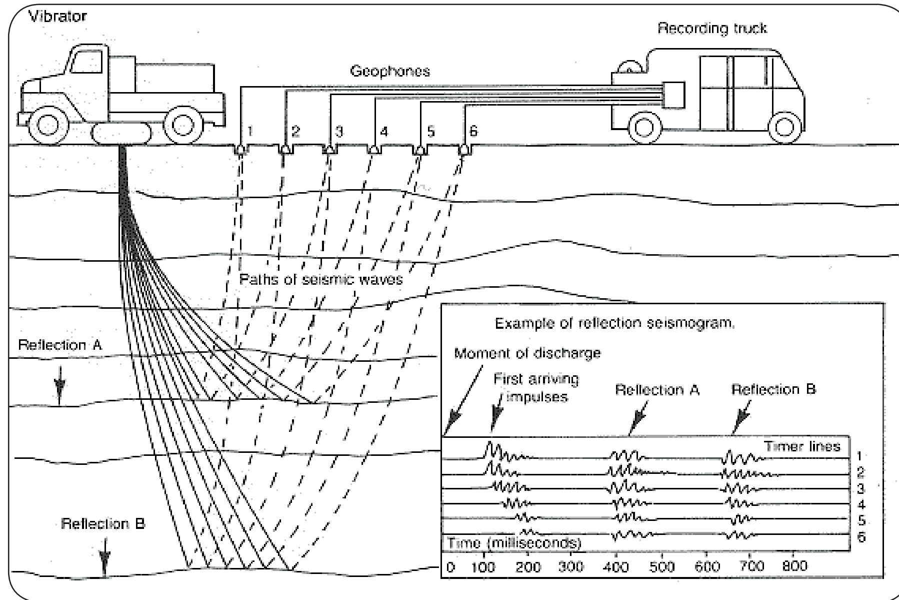
من مميزات الطريقة الانكسارية أننا نحتاج لأقل عدد ممكن من المصادر والمستقبلات ولذلك فهي رخيصة نسبياً في جمع البيانات في حين أن الطريقة الانعكاسية تحتاج لعدد أكبر من المصادر والمستقبلات لذلك فإن جمع البيانات بواسطة هذه الطرقة مكلف جداً. وعند تحليل البيانات فإن تحليل البيانات الانكسارية أسهل من تحليل البيانات الانعكاسية حيث أننا نعتمد في تحليل البيانات الانكسارية على زمن وصول أول موجة في حين أن تحليل البيانات الانعكاسية يعتمد على الجزء المتبقي من الطاقة كما انها تحتاج إلى أجهزة حاسوبية متطورة وعدد كبير من الخبراء لذلك فهي عالية التكلفة.
أما عن مساوئ الطريقة الانكسارية فيجب أن تكون المسافة بين المصدر والمستقبلات كبيرة بعض الشيء حتى نتمكن من استقبال البيانات . في حين أننا لا نحتاج هذه المسافة عندما نجمع البيانات بواسطة الطريقة الانعكاسية. أيضاً من مساوئ الطريقة الانكسارية أنها لا تعمل إلا إذا كانت السرعة تزداد مع العمق .. في حين أن الطريقة الانعكاسية تعمل في جميع الأحوال. ونلاحظ أيضاً أن الطريقة الانكسارية تترجم لنا ماهية الطبقات الموجودة في الأسفل. هذه الطبقات من الممكن أن تكون عميقة جداً وغير مستوية. في حين أن البيانات الانعكاسية يمكن أن تكون مترجمة بسهولة أكثر من ناحية علم الطبقات.

تعرض بيانات الانعكاس السيزمي على هيئة تسجيلات سيزمية تتكون من عديد من المراسم السيزمية. يكون المرسم السيزمي على هيئة خط متذبذب ممثلا استجابة الكاشف السيزمي لوصول الطاقة السيزمية (أو المجموعة المتصلة من الكاشفات) الممثلة لحركة الأرض. يوضح الشكل (9-17) تسجيل انعكاس سيزمي مصطنع. يسمى هذا تسجيل القذف (shot record) لأن كل المتذبذبات تمثل طاقة سيزمية ناتجة من مصدر وحيد أو نقطة قذف.





الشكل (9-16): الانعكاس والانكسار السيزمي



الشكل (9-17): يوضح تجميع ومعالجة البيانات السيزمية



9-3 الطرق الجيوكيميائية والإشعاعية

الجيوكيمياء Geochemistry، علم التركيب الكيميائي للأرض وهو علم يستخدم الأدوات والمبادئ الكيميائية الأساسية لتفسير الآليات التي تكمن وراء الأنظمة الجيولوجية الأساسية مثل قشرة الأرض والمحيطات. والجيوكيمياء هو علم حديث، ظهر في مطلع القرن العشرين، وينتمي إلى مجموعة علوم الأرض التي تدرس تركيب الكرة الأرضية وبنيتها وتاريخها الجيولوجي. وقد نشأت الجيوكيمياء نتيجة تراكم أعداد كبيرة من الدراسات الجيولوجية والكيميائية، وللحاجة الماسة لحل كثير من المسائل المرتبطة بأعمال التنقيب عن مكامن الخامات المفيدة. والطرق الجيوكيميائية هي الوحيدة بين طرق الكشف الاخرى التي تعتبر طريقة مباشرة. فهي تعطي نتائج ايجابية عند وجود تجمعات بترولية داخل الارض، ونتائج سلبية عند عدم وجودها.

يهتم علم الجيوكيمياء بدراسة:

- قوانين توزع العناصر الكيميائية في القشرة الأرضية، وفي أغلفة الأرض (المائي والغازي والحيوي) وفي الكرة الأرضية بصورة عامة.
- الخصائص الجيوكيميائية للعناصر الكيميائية.
- قوانين حركة العناصر الكيميائية من خلال دراسة العمليات الجيولوجية، وتحديد أسباب تجمع هذه العناصر وترافقها، وتبعثرها في الفلزات المختلفة.
- دراسة تاريخ العناصر الكيميائية، وتتبع خط سيرها بدءاً من انفصالها عن صهارة الماجما وتشكل الصخور النارية، ثم خضوع هذه الصخور لعمليات التجوية والنقل والترسيب وتشكل الصخور الرسوبية، ثم خضوع هذه الأخيرة لعمليات التحول ثم انصهارها وتشكل الماجما من جديد.
- دراسة توزع العناصر الكيميائية في الأجسام الكونية وفي الفضاء الكوني، وربط هذه الدراسات مع مثيلاتها للكرة الأرضية.
- تحديد الأعمار المطلقة للصخور والفلزات وغيرها.
- التنقيب عن مكامن الخامات المعدنية.



9 - 3 -1 جيوكيمياء النظائر

في الواقع تلعب الجيوكيمياء النظائريّة أحد أهم الأدوار الرئيسية في علم الجيوكيمياء، وأحد أهم الوظائف التي يُناط بها هذا الفرع من الجيو كيمياء هو تحسين وتطوير وحتى دراسة تركيز وخصائص بعض أنواع النظائر الكيميائيّة التي تلعب دورًا هامًا في العلوم الأخرى بالإضافة الى تحديد العمر. المقصود من تقدير العمر هو تحديد زمن تكون صخور القشرة الأرضية، وقد أصبح تقدير أعمار الصخور المطلق ممكناً بعد اكتشاف ظاهرة النشاط الإشعاعي وقبل ذلك كانت طرق علمي الطبقات الحيوي والحفريات هي الوسائل المتاحة لتحديد أزمنة نشأة تكوين الصخور. وهي ما زالت رغم أنها تعطي أعماراً جيولوجية نسبية ذات فائدة عظيمة في ترسيخ تتابع الأحداث الجيولوجية، وتحديد التتابعات الطبقية ووصلها في ترتيب تتابعي يمثل مقياس أو سلم الزمن الجيولوجي (الشكل 9-18).

جميع الطرق الحديثة لتحديد الأعمار بالنظائر تعتمد على الأسس التالية. إن متوسط معدل انحلال عدد كبير من نوع معين من الذرات المشعة ثابت بغض النظر عن مصدر أو عمر المواد المشعة، فكلها تنحل حسب نفس القانون الرياضي:

$$dN = \lambda N \ dt \qquad (9 - 2)$$

حيث N عدد الذرات التي لم تنحل و dN عدد الذرات التي انحلت في فترة زمنية dt و λ مقدار ثابت بالنسبة لمادة معينة ويسمى ثابت الانحلال. ويمكن قياس هذا المعدل بدقة في المعمل وذلك بتقدير عدد الذرات التي اضمحلت في وحدة الزمن بالنسبة للعدد الكلي للذرات ويجدر الإشارة إلى أن هذا المعدل لا يتغير تحت أي ظروف فيزيائية أو كيميائية يحتمل أن تكون قد تعرضت لها صخور القشرة منذ نشأتها.

- الطريقة الاشعاعية

تعتمد هذه الطريقة على استخدام الصفات الطبيعية لبعض العناصر الي تمتلك خاصيه النشاط الاشعاعي الطبيعي وخاصة عنصر اليورانيوم. حيث يمكن استخدام هذه الصفة في

البحث والتنقيب عن العناصر المشعة طبيعيا في الطبيعة. ويوجد في الطبيعة حوالي (20) عنصر مشع طبيعي ومن أهمها عنصر اليورانيوم والثوريوم وبعض نظائر البوتاسيوم. ان ذرات هذه العناصر تمتلك خاصية التحلل الذاتي او التلقائي من خلال اشعاعها او اطلاقها طاقة اما على شكل جسيمات تمتلك شحنة موجبه وتسمى اشعه الفا او الشحنات السالبة (الكترونات) تسمى اشعة بيتا او على شكل اشعة كهرومغناطيسية تسمى اشعة جاما هذه العناصر المشعة بإطلاقها لهذه الأنواع من الاشعة تتحول الى ذرات لعناصر أخرى جديده تسمى بالأبناء عملية التحلل الاشعاعي هذه تسمى بسلسلة التحلل الاشعاعي والتي تبدأ من أحد العنصر المشعة تنتهي بعنصر الرصاص الخامل.

بوتاسيوم 40 ⟵ أرجون 40 (K^{40} / Ar^{40})

روبيديوم 87 ⟵ استرنشيوم 87 (Rb^{87} / Sr^{87})

يورانيوم 238 ⟵ رصاص 206 (U^{238} / Pb^{206})

تلعب النظائر المشعة دورا مهما في التحديد المطلق لأعمار الصخور والكائنات الأخرى كما يلي :

تحديد عمر الصخور

تعتبر طريقة تقدير أعمار الصخور من أفضل التطبيقات على ظاهرة النشاط الإشعاعي، فالصخور التي تحتوي على يورانيوم يمكن تقدير أعمارها بمعرفة النسبة بين اليورانيوم 238 والرصاص 206 ومن المعروف أن عمر النصف لليورانيوم هو 4.5 بليون سنة (4.5 X 910 سنة).

أما الصخور التي لا تحتوي على يورانيوم يقدر عمرها باستخدام طريقة بوتاسيوم – ارجون 40Ar / 40K . ويبلغ عمر النصف للبوتاسيوم 1.3 X 910 سنة. وبحساب النسبة بين 40Ar / 40K يمكن تقدير عمر الصخر بنفس الطريقة التي اتبعت عند تقدير عمر الصخور الحاوية على اليورانيوم.

تحديد عمر الكائنات الحية

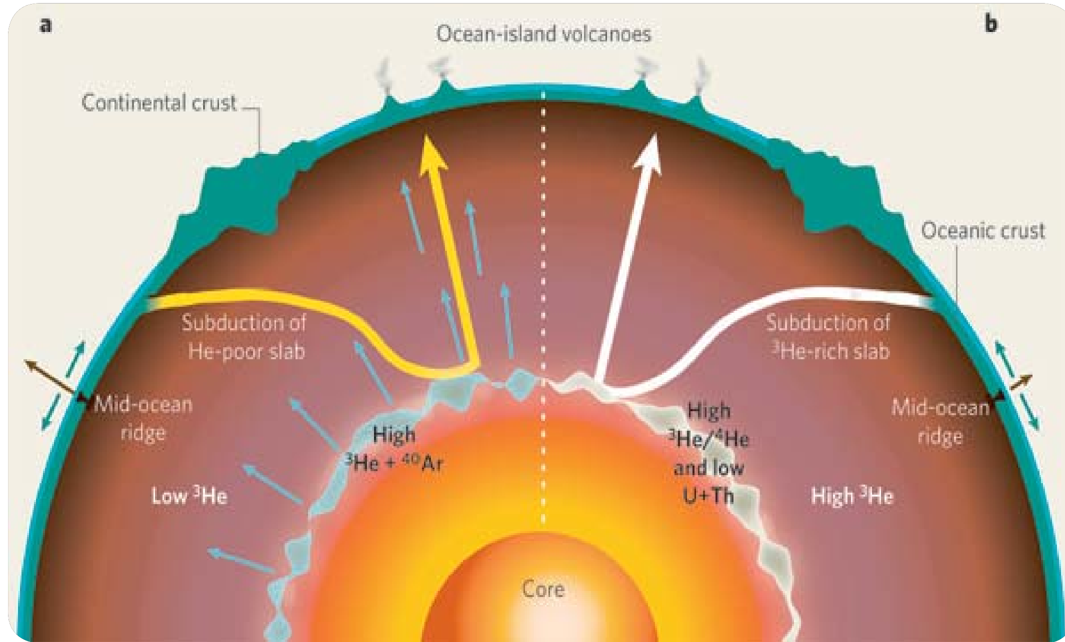
تمكننا طريقة الكربون المشع من تقدير أعمار أشياء تزيد أعمارها عن 70.000 سنة .تقدر عمر الأشياء التي كانت يوما ما حية ، مثل العظام والخشب بقياس النسبة بين



نظيري الكربون 14 والكربون 12. يتكون نظير الكربون 14 في طبقات الجو العليا من التحام النيوترونات مع أنوية النتروجين النووية. عمر النصف لنظير الكربون 14 يساوي 5770 سنة. وعند تفاعل الكربون مع الأكسجين يتكون غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يحتوي على نظيري الكربون 14 و 12. وعندما تقوم النباتات بعملية البناء الضوئي فإنها تأخذ غاز ثاني أكسيد الكربون الحاوي على نظيري الكربون وتحوله إلى مركبات عضوية تكون نسبة الكربون 14 و 12 فيها ثابتة .وعند موت الكائن الحي يستمر الكربون 14 بالتحلل دون أن يتحلل نظير الكربون 12 ، وبحساب النسبة بين النظيرين يمكن تقدير عمر الكائن الحي .

تقدير عمر الجليد

يتكون نظير الهيدروجين – 3 (التريتيوم) في الجو نتيجةً لالتحام النيوترون بالبروتون أو بفعل التحام النيتروجين بالنيوترون بفعل الأشعة الكونية. ويحتوي ماء المطر على كمية ضئيلة من هذا النظير المشع (عمر النصف = 12.26 عام) ، وبقياس نسبة وجوده في الجليد على قمم الجبال يمكن تقدير عمر الجليد.



الشكل (9-18) :يوضح التوزيع الجيوكيميائي للعناصر المشعة في باطن الأرض



الفصل العاشر

أساسيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

Basics of Remote Sensing& Geographic Information Systems

1-10 مفهوم الاستشعار عن بعد

الاستشعار عن بعد هو علم وفن تجميع المعلومات والبيانات عن ظواهر سطح الارض دون الاتصال أو التلامس الفعلي معها، وذلك من خلال تحسّس الطاقة المنعكسة أو المنبعثة منها وتسجيلها ومعالجتها وتفسيرها وتحليلها للحصول على معلومات عن الاهداف، وتطبيق هذه المعلومات. ابسط مثال لعملية الاستشعار عن بعد هو عملية التصوير الفوتوغرافي في حيث يتم الحصول على معلومات عن الاجسام التي نراها دون أن يتم ملامستها.



2-10 مميزات الاستشعار عن بعد

فيما يلي أبرز مميزات الاستشعار عن بعد:

1 - تغطي المرئيات الفضائية مساحات كبيرة من سطح الأرض مما يمكن الدراسات الإقليمية وتحديد الميزات الكبيرة.

2 - صور الأقمار الصناعية هي سجلات دائمة لسطح الأرض تقدم معلومات مفيدة بدقة مكانيه متفاوته وبأطوال موجية مختلفة.

3 - التغطية المتكررة تسمح بمراقبة الظواهر الديناميكية مثل الفيضانات، الحرائق، الزلازل، البراكين وغيرها والتعرف على خصائص سطح الارض قبل حدوثها.

4 - سرعة وسهولة الحصول على البيانات وتحليلها بواسطة برامج متخصصه في معالجة الصور الفضائيه وقلة العمل الميداني الذي يوفر الوقت والجهد.

5 - توفير بيانات لمناطق يصعب الوصول إليها مثل مناطق الثوران البركاني والمناطق الجبليه الوعره والسبخات.

6 - يمكن استخدام البيانات الناتجة عن تقنيات الاستشعار عن بعد من أجل: تخطيط استخدام الأراضي، تنمية الغابات، المسوحات الجيولوجية، التخطيط العمراني، إدارة الكوارث، الثروات المعدنيه.

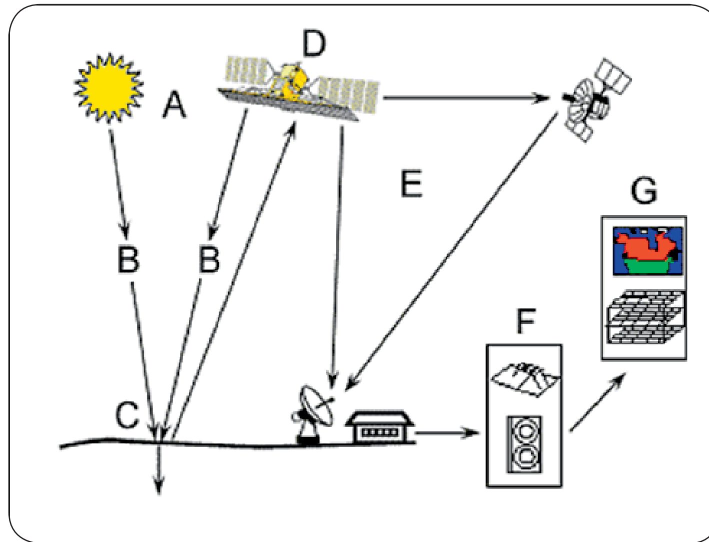
7 - طريقة غير مكلفه وسريعة لبناء الخرائط الأساسية في ظل غياب المسوحات التفصيلية للأراضي.

3-10 مكونات نظام الاستشعار عن بعد

يضم نظام الاستشعار مجموعة من المكونات الأساسية (الشكل 10-1). يتمثل اول مكون لعملية الاستشعار عن بعد فى وجود مصدر للطاقة يقوم بإرسال موجات كهرومغناطيسية الى سطح الارض. تعتمد بعض أنظمة الاستشعار عن بعد على الشمس كمصدر طبيعي للإشعاع الكهرومغناطيسي والبعض الاخر يعتمد على مصادر صناعية محمولة في الفضاء بواسطة الأقمار الصناعية (A). تمر الطاقة من المصدر عبر الغلاف الجوي ومن ثم تتفاعل معه



حيث يحدث الغلاف الجوي بعض التأثيرات على الاشعة الساقطة وقد يتفاعل مع الاشعة المنعكسة والمنبعثة مرة أخري (B). عندما تسقط هذه الاشعة على الاهداف المطلوبة فإنها تتفاعل معها وفقاً لخصائص الهدف والاشعاع الساقط (C). تقوم اجهزة الاستشعار عن بعد، وبدون اتصال او تلامس مع الهدف والمحمولة بواسطة نفس الأقمار الصناعية، بتجميع الاشعة المنعكسة والمنبعثة من الاهداف وتسجيلها (D)، ومن ثم يتم ارسالها فى صورة الكترونية الى محطات استقبال ارضية ليتم معالجتها وتحويلها الى مرئية رقمية أو ورقية (E). يتم بعد ذلك تفسير وتحليل هذه المرئيات أو الصور المسجلة سواء بصريا أو رقميا بهدف استخراج المعلومات عن الأهداف الأرضية التي تم تحسسها عن بعد (F)، ليتم بعد ذلك تطبيقها في حل مشكلة معينة (G).



الشكل (1-10): المكونات الأساسية لنظام الاستشعار عن بعد (Bommakanti & Manugula، 2018)

4-10 أنواع الاستشعار عن بعد Types of Remote Sensing

يمكن تصنيف الاستشعار عن بعد وفقاً لنوع مصدر الموجات الكهرومغناطيسية الى نوعين (الشكل 10-2):

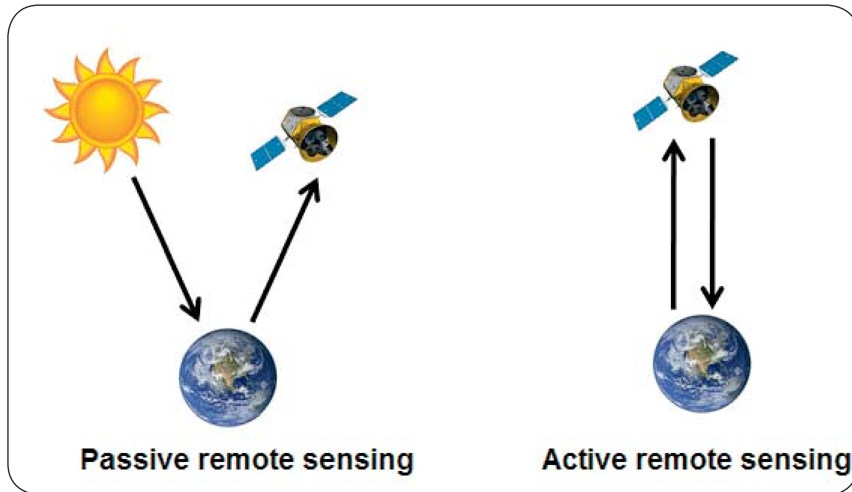


أ. الاستشعار عن بعد السلبي Passive Remote Sensing

يعتمد هذا النوع على مصادر الطاقة الكهرومغناطيسية الطبيعية، مثل أشعة الشمس أو على الإشعاع الطبيعي للهدف المراد دراسته. ومن عيوب هذا النوع من الاستشعار انه يعمل فقط في الأوقات التي يكون فيها المصدر الطبيعي متاحاً، وهذا يحدث بالنهار فقط.

ب. الاستشعار عن بعد النشط Active Remote Sensing

يعتمد هذا النوع من الاستشعار على مصادر صناعية للإشعاع الكهرومغناطيسي، حيث يكون جهاز الاستشعار المحمول على منصات الأقمار الصناعية مسؤولا عن إرسال الموجات الكهرومغناطيسية إلى الأهداف المراد دراستها، فترتطم بها، وتنعكس لتستقبلها المستشعرات مرة آخري، ومن أمثلتها مستشعرات الرادار ذات الفتحة الاصطناعية Synthetic Aperture Radar (SAR)، ومن مميزاتها انها تعمل في الليل والنهار ولا تتاثر بشكل عام بالظروف المناخيه.



الشكل (10-2): تصنيف الاستشعار عن بعد اعتمادا على مصدر الطاقة الكهرومغناطيسية

10-5 الإشعاع الكهرومغناطيسي Electromagnetic Radiation

وهو عبارة عن إشعاع يتألف من مجالين إحداهما كهربائي Electric Field والآخر مغناطيسي Magnetic Field متعامدان على بعضهما البعض وعلى اتجاه انتشار

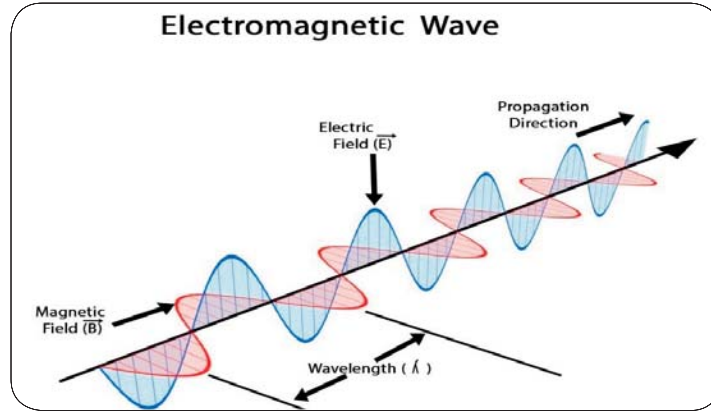


الاشـعاع (الشـكل10-3). وكلا المجالين الكهربائي والمغناطيسـي يسـيران بسـرعة الضوء ($c=3x10^8$ m/s). وهناك خاصـيتين أساسـيتين للإشـعاع الكهرومغناطيسـي لهما أهمية خاصة في فهم عملية الاستشعار عن بعد، وهما خاصيتي الطول الموجي والتردد للموجه.

الطـول الموجـي Wavelength (λ) هـو طـول دورة كاملة ويسـاوى المسـافة بين قمتين متتاليتـين ويقاس بوحـدة المـتر (m). أما الـتردد Frequency (f) فهو عـدد الموجات في الثانية الواحدة ويقاس بوحدة الهرتز Hertz (Hz). ويتم التعبير عن الطول الموجي والتردد بواسطة المعادلة التالية:

$$c= \lambda.f \qquad (10 - 1)$$

تشـير هذه المعادلة أن هناك علاقة عكسـية بين طول الموجة والتردد فكلما قصـر الطول الموجي زاد التردد وكلما زاد الطول الموجي انخفض التردد.



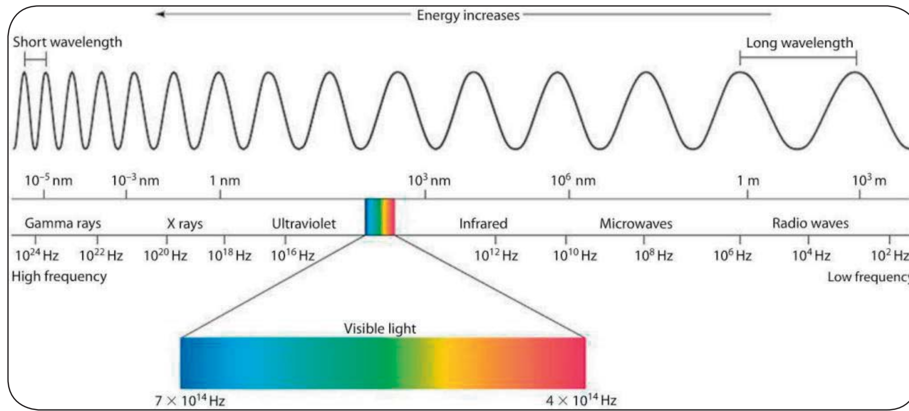
الشكل (3-10): مركبات الإشعاع الكهرومغناطيسي

6-10 الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum

يتراوح الطيف الكهرومغناطيسي electromagnetic spectrum من موجات قصيرة (مثل أشـعة جاما gamma ray والأشـعة السينية x-ray) إلى موجات طويلة (مثل الموجات الصغرية أو الميكروويف microwaves وموجات الراديو radio waves) كما هو موضح في



الشـكل (10 - 4). وهنـاك نطاقات عديدة للطيف الكهرومغناطيسـي مُفيدة للاستشعار عن بُعد. يمثل نطاق طيف الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet أقصر طول موجي، مما يجعلها عملية لمعظم أغراض للاستشعار عن بعد. يقع هذا الجزء من الطيف مباشرة خلف الاشعة البنفسـجية violet من الضوء المرني ومن هنا جاء اسـمه. بعض الصخور والمعادن، ينبعث منها ضوء مرئي عندما تقع عليها الأشعة فوق البنفسجية.



الشكل (4-10): مكونات الطيف الكهرومغناطيسي

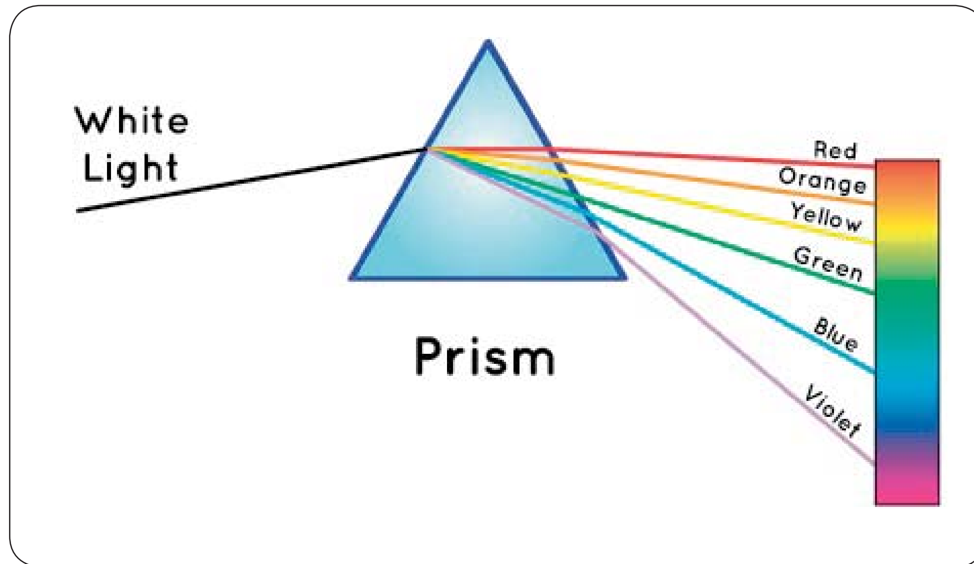
إن الضـوء الذي تحسـه أعيننا هو جزء من الطيف المرئـي visible spectrum والذي يغطى جزء صـغير بالنسـبة لبقيـة الطيـف الكهرومغناطيسـي. حيث يوجد حولنـا العديد مـن أنواع الإشـعاع الغير مرئي invisible لأعيننا، ولكن يمكن تحسسـه عـن طريق أجهزة الاستشـعار عن بعد والاسـتفادة منه. يغطي الطيف المرئي أطـوال موجية تتراوح من حوالي 0.4 إلى 0.7 ميكرومـتر. يوضـح الجدول (1-10) مكونات الضـوء المرئـي وأطوالها الموجية المختلفة. يمثل اللون أو الضـوء الأحمر أطول طول موجي بينما اللون البنفسـجي يمثل أقصر طول موجي. تمثل الألوان (الأزرق والأخضـر والأحمر) الألوان الأسـاسـية في الطيف المرئي حيث لا يمكن تشـكيل هذه الألوان من الألوان الأخرى، بينما الألوان الأخرى يمكن تشـكيلها من خلال الجمع بين الأزرق والأخضـر والأحمر بنسـب مختلفة. على الرغم أننا نرى ضـوء الشمس بلون موحد أو متجانس، إلا انه في الواقع يتكون من أطوال موجية مختلفة من الإشعاع



وخاصــة الأشعة فوق البنفسجية والمرئية والأشــعة تحت الحمراء. ويمكن رؤية الجزء المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي عن طريق تمرير ضوء الشمس من خلال منشور زجاجي، كما في الشكل (10-5).

الجدول (10-1): الألوان المكونة للطيف المرئي وأطوالها الموجية المختلفة

اللون Color	الطول الموجي Wavelength (μm)
البنفسجي Violet	0.4 - 0.446
الأزرق Blue	0.446 - 0.500
الأخضر Green	0.500 - 0.578
الأصفر Yellow	0.578 - 0.592
البرتقالي Orange	0.592 - 0.620
الأحمر Red	0.620 - 0.7



الشكل (10-5): مكونات الضوء المرئي



الجـزء التـالي الهام من الطيف الكهرومغناطيسـي هـو منطقة الأشـعة تحت الحمراء Infrared (IR) والتـي تغطـي أطـوال موجية تتراوح مـن حـوالي 0.7 إلى 1 ميكرومتر (أي أكثر من مائة ضـعف عرض الجزء المرئي). يمكن تقسيم منطقة الأشعة تحت الحمراء إلى فئتين بناءاً على خواصـهما الإشعاعية وهما الأشعة تحت الحمراء المنعكسة Reflected IR، والأشـعة تحت الحمراء المنبعثة أو الحرارية Thermal IR. تسـتخدم الأشعة تحت الحمراء المنعكسـة فى الاستشعار عن بعد بطرق مشـابهة للضوء المرئي. تغطي الأشعة تحت الحمراء المنعكسة أطوال موجية تتراوح من 0.7 إلى 3.0 ميكرومتر. أما الأشعة تحت الحمراء الحرارية فتختلف تمامًا عن الأشعة تحت الحمراء المنعكسة والضوء المرئي، حيث تمثل أساسًا الإشعاع الحراري المنبعث من سـطح الأرض. تغطي الأشـعة تحت الحمـراء الحرارية أطوال موجية تتراوح من حوالي 3.0 إلى 20 ميكرومتر.

الجزء من الطيف الذي أصـبح يستخدم حديثاً في الاستشعار عن بعد هو منطقة الأشعة الصـغرية أو الميكروويـف microwaves والتي يتراوح طولها الموجـي من حوالي 1 ملم إلى 1 متر. وهذا يمثل أطول الموجات المسـتخدمة للاستشـعار عن بعد. تكون أشـعة الميكروويف قصـيرة الموجة ولها خصـائص مشـابهة للأشـعة تحت الحمراء الحراريـة، بينما الموجات الطويلة منها فتستخدم في البث الإذاعي (Sharma et al., 2006).

7-10 تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الغلاف الجوي

قبل أن يصـل الإشعاع المستخدم في الاستشـعار عن بعد إلى سطح الأرض فإنه يمر عبر الغـلاف الجوي للأرض. ويتكون الغـلاف الجوي من العديد من الغازات أهمها الأكسـجين والنيتروجين والأوزون وثاني أكسـيد الكربون إضـافة الي بخار المـاء، وتعمل هذه المواد على التأثير على الإشـعاع الكهرومغناطيسـي أثناء مروره في الغلاف الجوي. ويحدث هذا التأثير نتيجة آليتي التشتت والامتصاص (Bommakanti & Manugula, 2018).



10-7-1 التشتت Scattering

يحدث التشتت عندما توجد جزيئات كبيرة من الغاز او الاغبره في الغلاف الجوي تتسبب في انحراف الإشعاع الكهرومغناطيسي عن مساره الأصلي (الشكل 10-6). يعتمد مقدار التشتت الذي يحدث على عدة عوامل تشمل الطول الموجي للإشعاع، وفرة الجزيئات أو الغازات، والمسافة التي يقطعها الإشعاع عبر الغلاف الجوي. ويأخذ التشتت أحد ثلاثة أشكال رئيسية هي:

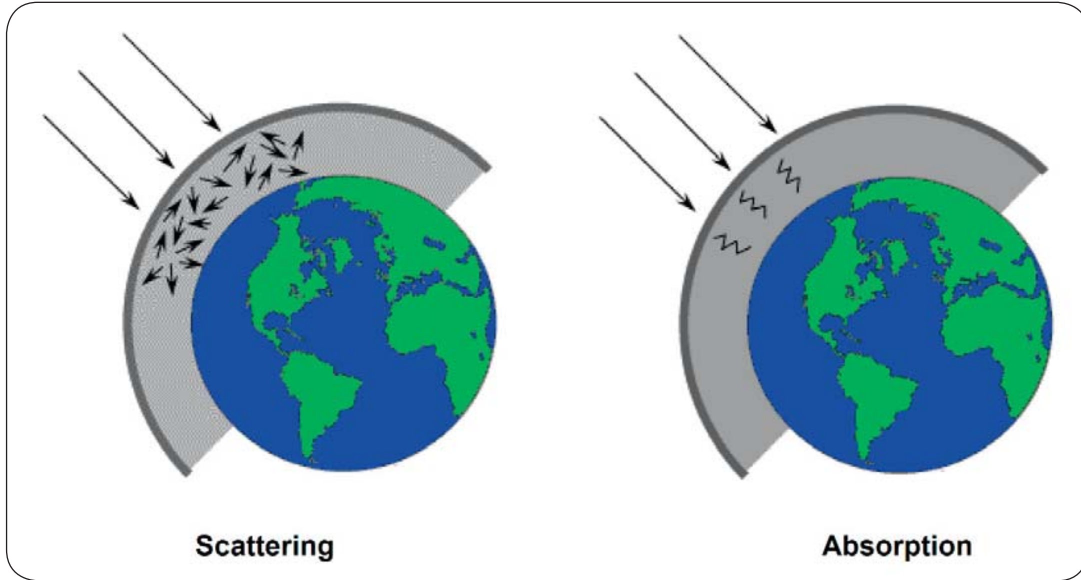
أ. تشتت الموجات القصيرة (تشتت رايلي Rayleigh Scattering).
ب. تشتت الموجات الطويلة (تشتت مي Mie Scattering).
ت. التشتت العشوائي (Non-Selective Scattering).

10-7-2 الامتصاص Absorption

يحدث الامتصاص عندما تمتص الجزيئات الموجودة في الغلاف الجوي الأشعة عند أطوال موجية معينة في الطيف الكهرومغناطيسي من نطاقات تسمي نطاقات الامتصاص. الأوزون وثاني أكسيد الكربون وبخار الماء هي المكونات الرئيسية الثلاثة للغلاف الجوي التي تمتص الإشعاع. يعمل الأوزون على امتصاص الأشعة فوق البنفسجية الضارة القادمة من الشمس وبدون هذه الطبقة الواقية في الغلاف الجوي لأحترق جلد الإنسان عند تعرضه لأشعة الشمس. أما ثاني أكسيد الكربون فيميل إلى امتصاص الإشعاع بقوة في نطاق الأشعة تحت الحمراء البعيدة والذي يعمل على حجز الحرارة داخل الغلاف الجوي مسبباً ظاهرة الاحتباس الحراري. يمتص بخار الماء الكثير من الأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة وموجات الميكروويف قصيرة الموجة (بين 22 ميكروميتر و 1 متر). يختلف وجود بخار الماء في طبقات الجو السفلى للأرض اختلافًا كبيرًا من مكان إلى أخر ومن وقت إلى آخر خلال العام، فنجد فوق المناطق الصحراوية القاحلة كميات قليلة من بخار الماء فيقل امتصاص الاشعة الكهرومغناطيسية بينما فوق المناطق المدارية ذات الرطوبة العالية تكون تركيزات بخار الماء عالية مما يتسبب في امتصاص الاشعاع.وبالتالي نظرًا لأن هذه الغازات تمتص الطاقة في مناطق محددة من الطيف الكهرومغناطيسي، فإنها تؤثر على تحديد النطاقات التي يمكن استخدامها في الاستشعار عن بُعد. وتسمى مناطق الطيف ذات النفاذيه والتي لا تتأثر بشدة



بامتصاص الغلاف الجوي بالنوافذ الجويه atmospheric windows" و هي وبالتالي مفيدة لمستشعرات الاستشعار عن بعد.



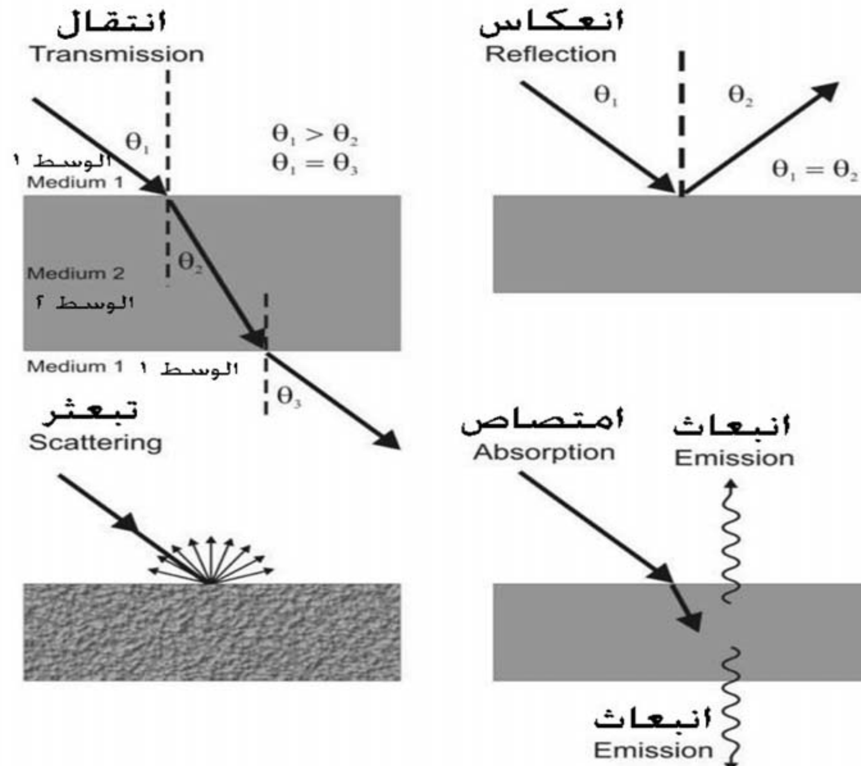
الشكل (10-6): تشتت وامتصاص الاشعاع الكهرومغناطيسي بواسطة الغلاف الجوي

10-8 تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع ظواهر سطح الأرض

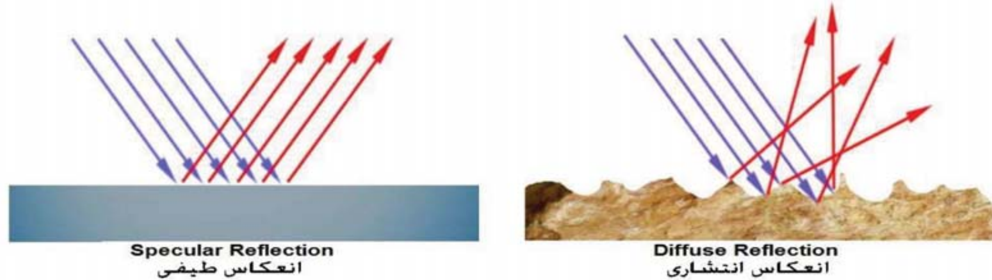
عندما يصل الإشعاع الكهرومغناطيسي إلى سطح الأرض فإنه سرعان ما يتفاعل مع ظواهر سطح الأرض (الأهداف)، هناك ثلاثة صور لهذا التفاعل وهي الامتصاص (A)، النفاذ (T)، والانعكاس (R). ويحدث التفاعل مع الأهداف في صورة واحدة او أكثر من هذه التفاعلات اعتمادا على الطول الموجي للإشعاع الساقط، زاوية سقوط الإشعاع، الخصائص الفيزيائية والكيميائية للهدف، وتركيب سطح الهدف.يحدث الامتصاص absorption عندما يمتص الهدف الطاقة الساقطة عليه، بينما يحدث النفاذ transmission حين يمر الإشعاع عبر الهدف (يخترقه). أما الانعكاس reflection فيحدث حين يرتد الإشعاع من على سطح الهدف ويُعاد توجيهه، وهو المُهم في عملية الاستشعار عن بعد (الشكل 10-7). ومن هنا يوجد نوعين للانعكاس هما الانعكاس الارتدادي specular reflection والانعكاس الانتشاري diffuse reflection. ويحدث الانعكاس الارتدادي نتيجة



لسقوط الأشعة على سطح أملس أو ناعم Smooth يشبه المرآه مثل أسطح الأجسام المائية والطرق الأسفلتية، ومن ثم تنعكس معظم الأشعة الساقطة بعيداً عن السطح وفي اتجاه واحد. أما الانعكاس الانتشاري فيحدث عندما يكون السطح خشن rough مثل سطوح جبال الصخور النارية شديدة التضاريس، مما يؤدي إلى انعكاس الأشعة في جميع الاتجاهات (Bommakanti & Manugula, 2018)، كما هو موضح في الشكل (8-10).



الشكل (10-7): يوضح تفاعل الإشعاع الكهرومغناطيسي مع سطح الأرض

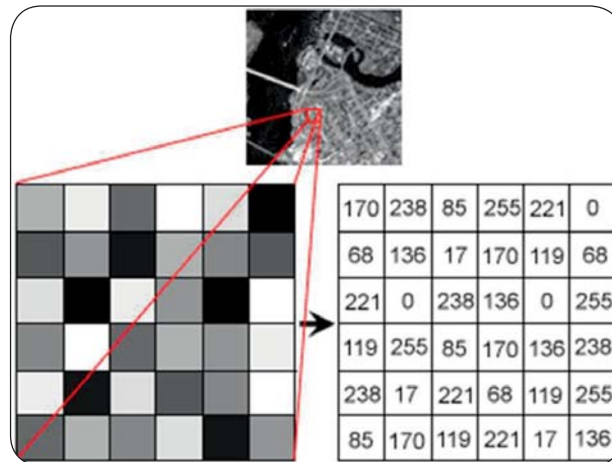


الشكل (10-8): يوضح الانعكاس الارتدادي والانعكاس الانتشاري



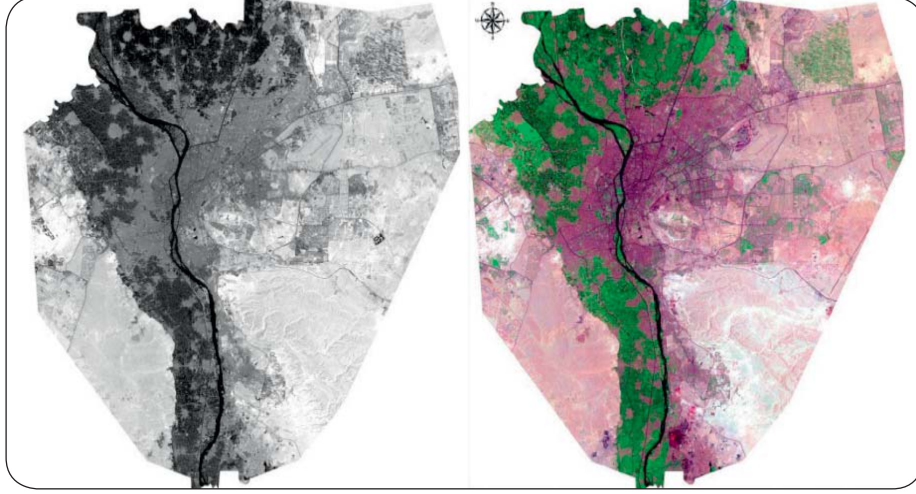
9-10 المرئيات الفضائية Satellite Images

المرئيــة فى الاستشــعار عــن بعد هي التمثيل التصــوري لســطح الأرض وتتكون من اقســام صــغيرة متساوية المســاحة تسمى الخلايا او البكســل pixels متراصة في شــكل مصفوفة افقياً وعموديــاً، وتعبر كل خلية عن مســاحة أرضــية، وتمثل هذه الخلايا درجة ســطوع brightness كل مســاحة بواســطة قيمــة رقميــة digital number. تقــوم المستشــعرات بتســجيل الطاقــة فــى مجموعــة مــن القنــوات channels او النطاقــات bands يغطــي كل منهــا مجــالا معينــا مــن الطيــف الكهرومغناطيسي (الشــكل10-9) ، ويمثــل كل نطــاق بمصــفوفة مــن الخلايــا (Bhatta, 2008). يمكننا دمج وعرض معلومات القنوات او النطاقات المختلفة معًا باســتخدام الألوان الأساســية الثلاثة (الأزرق والأخضــر والأحمر). يتم تمثيل البيانات فى كل قناة بواحدة مــن الألوان الأساســية، واعتمادًا على الســطوع النســبي (أي القيمة الرقميــة) لكل خلية في كل نطاق، يتم الجمع بين الألوان الأساســية بنســب مختلفة لتمثيل ألوان مختلفة. وعندما نستخدم هــذه الطريقــة لعرض معلومات نطاق واحــد فإننا نقوم بعرض محتويات هــذه القناة من خلال الألوان الرئيســيةالثلاثة. وبســبب أن درجة السطوع في كل خلية تكون متســاوية للألوان الثلاثة فإنها تتجمع في مرئية أبيض وأســود black and white image (الشــكل 10-10). أما عندما يتم عرض أكثر من نطاق ولكلا منهم لون أساســي مختلف فإن درجة اللمعان ستختلف من قناة الي أخري في طريقة دمج الألوان ومن ثم فإنهم سينتجون مرئية ملونة color image.



الشكل (10-9): مكونات المرئية الفضائية





الشكل (10-10): مرئية ملونة وغير ملونة (مقبلة، 2017)

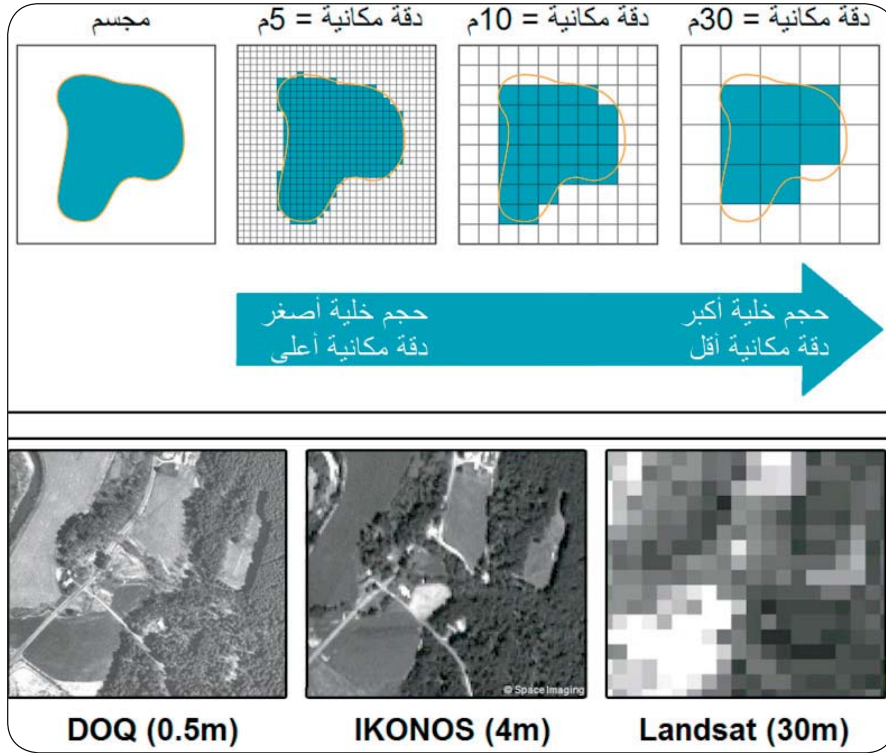
10-10 درجة وضوح أو دقة المرئيات Image Resolution

يمكن تقسيم درجة وضوح المرئيات إلى أربع أنواع:

1-10-10 درجة الوضوح المكانية Spatial Resolution

الدقة المكانية للمستشعر تشير إلى حجم أصغر ظاهرة أو مساحة من الأرض يمكن للمستشعر تحسسها، وهي تفاصيل الصورة من ناحية البكسل والذي يمثل أصغر وحدة على المرئية، فالدقة الأعلى تعني مزيدًا من التفاصيل وحجمًا أصغر للبكسل، والدقة الأدنى تعني تفاصيل أقلّ وحجمًا أكبر للبيكسل (الشكل 10-11).





الشكل (10-11): مفهوم درجة الوضوح المكانية

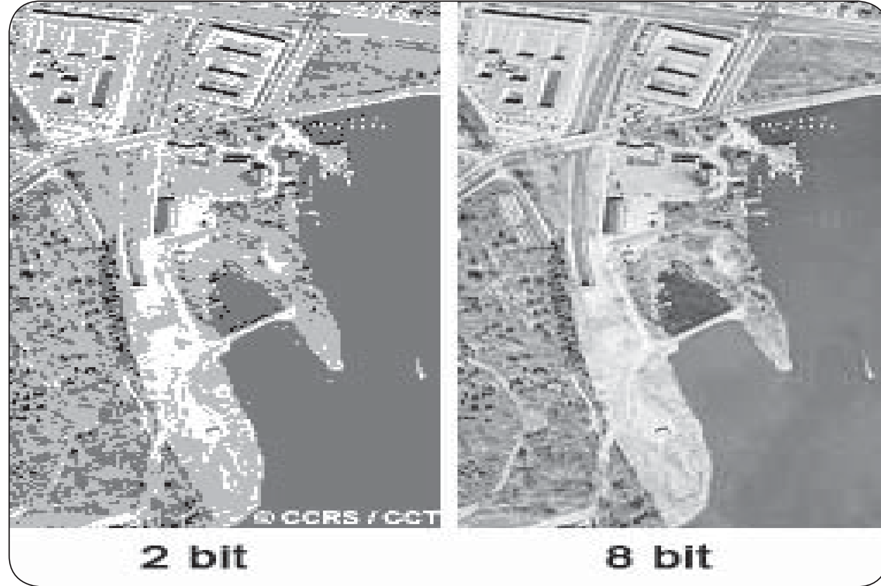
10-10-2 الدقة الطيفية Spectral Resolution

تُشير الدقة الطيفية إلي عدد الأطوال الموجية التي تُلتقط فيها الصورة أو عدد القنوات او النطاقات التي تحتويها الصورة، حيث ان الصورة الواحدة تتكون من مجموعة من الصور يًلتقط كل منها في مجال طيفي مُحدد يُعرف بالقناة. إن تسجيل المرئيات في نطاقات طيفية متعددة مهماً للغاية حيث يجعل تمييز الأهداف المصورة بعضها من بعض ممكناً نتيجة اختلاف الإجابات الطيفية لهذه الأهداف، إذ يعكس كل نوع منها كمية ونوعية من الأشعة الساقطة أو يبث أشعة حرارية تؤدي إلى ظهوره بمظهر يختلف عن مظاهر الأهداف الأخرى (مقبلة، 2017).



3-10-10 الدقة الراديومترية Radiometric Resolution

تعد الدقة الراديومترية مقياساً لحساسية المستشعر على كشف الاختلافات البسيطة جداً التي تحدث في قوة الإشارة الكهرومغناطيسية أثناء تسجيلها للأشعة المنعكسة من سطح الأرض، فكلما زادت درجة الوضوح الراديومترية لمستشعر كلما زادت حساسيته لاستكشاف الفروق في الطاقة المنعكسة والمنبعثة (الشكل 10-12)، وتقاس بوحدة البايت bite (داود، 2013).



الشكل (10-12): مفهوم الدقة الراديومترية

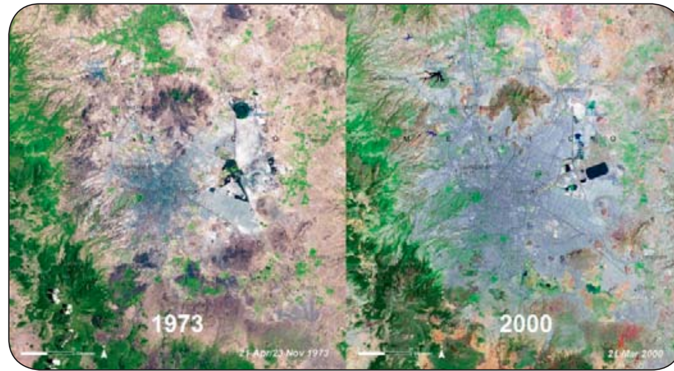
4-10-10 الدقة الزمنية Temporal Resolution

الدقة الزمنية تعرف بأنّها الفاصل الزمني بين مرئيتين تم تجميعهم لنفس المنطقة من سطح الأرض. تتميز الصور الفضائية بإمكانية الحصول عليها في مدد زمنية متكررة أو دورية (الشكل 10-13)،

وتختلف هذه التكرارية بحسب القمر الصناعي فهي على سبيل المثال 16 يوماً للقمر لاندسات و 26 يوماً للقمر الصناعي سبوت ، وهي 22 يوماً للمستشعر الهندي أيرس، أما



للأقمار المخصصة للأحوال المناخية فهي كل نصف ساعة أو أقل كي تصل المعلومة المناخية إلى المستثمر في وقت قصير ومناسب وتترجم إلى نشرات جوية. وللتكرارية الزمنية التي تتميز بها الصور الفضائية أهمية خاصة، لأنها تعطي فكرة واضحة ومعلومات دقيقة عن التغيرات التي تطرأ على منطقة معينة خلال مدة زمنية معينة تتراوح بين عدة أيام وعشرات السنين، وتمكن المستخدم من المراقبة المتكررة لأهداف معينة مثل تطور المحاصيل الزراعية والتوسعات العمرانية والتغيرات البيئية وغيرها من التطبيقات المتعددة للاستشعار عن بعد.



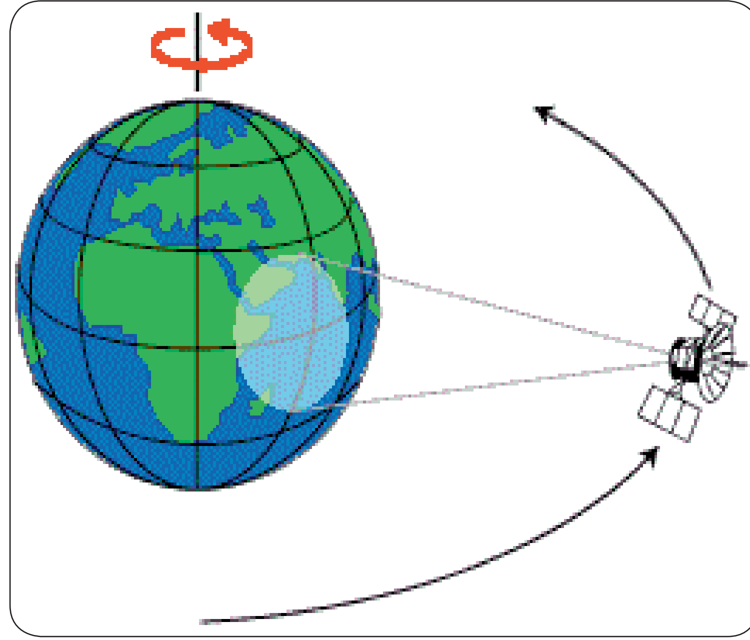
الشكل (10-13): مفهوم الدقة الزمنية

10-11 الأقمار الصناعية وجهاز الاستشعار

لكي يقوم جهاز الاستشعار sensor بجمع وتسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من هدف أو سطح، يجب أن يكون موجودا على منصة platform لا تلامس لهذا الهدف أو السطح. قد تكون منصات أجهزة الاستشعار عن بعد موجودة على الأرض أو في الغلاف الجوي (على طائرة أو بالون) أو في الفضاء خارج الغلاف الجوي (على قمر صناعي satellite أو مكوك فضاء space shuttle). عادة ما تستخدم الأقمار الصناعية في عملية الاستشعار عن بعد. ويوجد نوعان من الأقمار الصناعية المستخدمة في الاستشعار عن بعد: أقمار متحركة في مسارات Orbits حول الكرة الأرضية، وأقمار ثابتة Geostationary، وهي التي تتميز بتواجدها الدائم في موضع ثابت بالنسبة للأرض، وبذلك توفر ملاحظة دائمة ومستمرة لجزء ما من الكرة الأرضية (الشكل 10-14). وهذه الاقمار الثابتة مع الارض تكون على



ارتفاعات تقريبا 36000 كيلومتر وتدور بنفس سرعة الارض بحيث انها تكون كما لو كانت ثابتة بالنسبة لسطح الارض، وتعد اقمار الاتصالات واقمار المناخ من نوعية الاقمار الصناعية التي لها مدارات ثابتة (Kumar, 2005). يوضح الجدول (10-2) أمثلة لبعض الأقمار الصناعية المستخدمة في الاستشعار عن بعد وخصائصها.



الشكل (10-14): المدارات الثابتة للأقمار الصناعية

10-12 تطبيقات الاستشعار عن بعد

يراعى فى تصميم أجهزة الاستشعار عن بعد الغرض التي ستستخدم من أجله. فالمستشعرات الضوئية، يركز تصميمها على نطاقات طيفية محددة سيتم جمعها، بينما مستشعرات الرادار تلعب زاوية سقوط الموجات ونطاق الميكروويف دورًا مهمًا في تحديد التطبيقات المناسبة لهذه المرئيات. كل تطبيق في حد ذاته له متطلبات محددة من درجة الوضوح الطيفية، والدقة المكانية، والدقة الزمنية. فعلى سبيل المثال، التطبيقات الزراعية حساسة لنطاقات طيفية معينة حيث يمتص الكلوروفيل فى النباتات الطاقة الكهرومغناطيسية بشدة. يحتاج التخريط المفصل للأراضي مرئيات ذات دقة مكانية عالية على عكس التخريط



الإقليمي. وهناك تطبيقات تتطلب الحصول على المرئيات مرارًا وتكرارًا، مثل تسرب النفط وحرائق الغابات ومراقبة حركة الجليد. تتطلب بعض التطبيقات فقط التصوير الموسمي مثل تحديد أنواع المحاصيل ومراقبة الأراضي الرطبة، والبعض الآخر يحتاج إلى التصوير مرة واحدة فقط، مثل رسم الخرائط الجيولوجية والتركيبية. وفيما يلي عرض سريع لأبرز تطبيقات الاستشعار عن بعد في المجالات المختلفة.

الجدول (2-10) بعض الأقمار الصناعية المستخدمة في الاستشعار عن بعد وخصائص كل منها (داود، 2015)

القمر	تاريخ الاطلاق	الوضوح المكاني (م)		عدد النطاقات	طول البكسل (كم)	ارتفاع الثمر (كم)	إعادة الزيارة (يوم)
		بانكروماتية	متعدد الأطياف				
WorldView-3	2014	0.31	1.24	29	13.1	617	1
GeoEye-1	2008	0.41	1.65	4	15.2	770	8.3
WorldView-2	2009	0.46	1.84	13	17.6	770	1.1
Pleiades-1B	2012	0.5	2.0	5	20	694	1
QuickBird	2001	0.65	2.6	5	16.8	450	3.5
IKONOS	1999	0.82	3.2	5	11.3	681	3
EgyptSat-2	2014	1.0	4.0	4	46.6	720	
SkySat-2	2014	1.1	2.0	5	8	450	1
SPOT-7	2014	1.5	6.0	5	60	694	1
SPOT-6	2012	1.5	6.0	5	60	694	1
RapidEye	2008	5.0	10.0	5	77	630	5.5
ASTER	1999	15	30	14	60	705	16
Landsat-8	2013	15	30	11	185	705	16
Landsat-7 ETM	1999	15	30	8	185	705	16



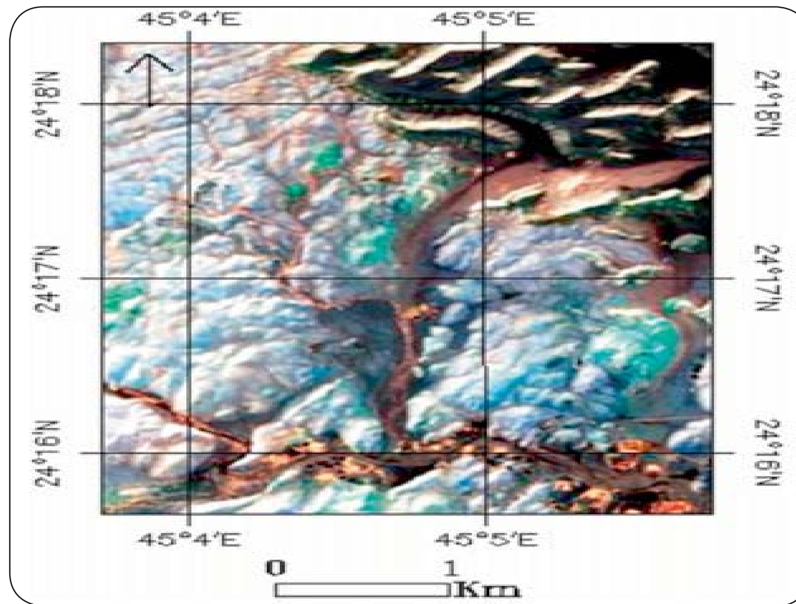
10-12-1 التطبيقات الجيولوجية

يستخدم الاستشعار عن بعد مدعوماً بقياسات تكميلية من مصادر بيانات آخري فى رسم خرائط التراكيب الجيولوجية والوحدات الصخرية السطحية. تقدم مرئيات الاستشعار عن بعد رؤية شاملة للمناطق الاقليمية الواسعة والمناطق التي يصعب الوصول اليها بدلا من مجرد قياسات عند نقاط ارضية محددة. تلعب خرائط التراكيب الجيولوجية (الشكل 10 -15) للفوالق والكسور والطيات دوراً مهماً في تفسير الحركات الأرضية التي شكلت تضاريس سطح الأرض كما تفيد في مراقبة المخاطر الطبيعية كالزلازل والانهيارات الأرضية، بالإضافة الى ان هذه التراكيب ربما تشير الى المواقع المحتملة لاستكشاف المعادن والبترول (الشكل 10-16) . تقدم المرئيات متعددة النطاقات الطيفية معلومات عن التركيب الصخري كما في الشكل (10-17) اعتمادا على الانعكاس الطيفي لكل نوع من الصخور. بينما تستخدم مستشعرات الرادار فى رسم خرائط تفصيلية للتضاريس السطحية والتي تلعب دوراً مهما في تحديد التراكيب السطحية مثل نموذج الارتفاع الرقمي DEM. ولإبراز التضاريس السطحية ومواقع التراكيب الجيولوجية عادة ما يتم عرض ظل التضاريس السطحية من زوايا اضاءة مختلفة تحاكى ضوء الشمس وتسمي هذه الخرائط بخرائط الظلال hillshade. وللحصول على تخريط مفصل دقيق لمنطقة ما عادة ما يتم مقارنة تفسيرات مرئيات الاستشعار عن بعد مع المعلومات التي يتم الحصول عليها من التقنيات الجيوفيزيائية كالمسح السيزمي والمغناطيسي والاشعاعي واي بيانات جيولوجية اخري يتم الحصول عليها من خلال الزيارات الحقلية. يوضح الشكل (10-18) مثال لاستخدام الاستشعار عن بعد في التطبيقات الجيولوجية بمنطقة غرب قنا بمصر ، ويعرض الشكل نموذج الارتفاع الرقمي DEM لمنطقة الدراسة (a)، خريطة ظلال التضاريس hillshade بزاوية ضوء 45 درجة (b)، التراكيب الجيولوجية السطحية المستنتجة من خريطة الظلال (c)، وخريطة الوحدات الصخرية المستنبطة من بيانات الاستشعار عن بعد الضوئية والرادارية والدراسات الحقلية (d). يوضح الشكل (10-19) أمثلة لاستخدام نتائج مخرجات الاستشعار عن بعد في التطبيقات الجيولوجية بمدينة الرياض – المملكة العربية السعودية.



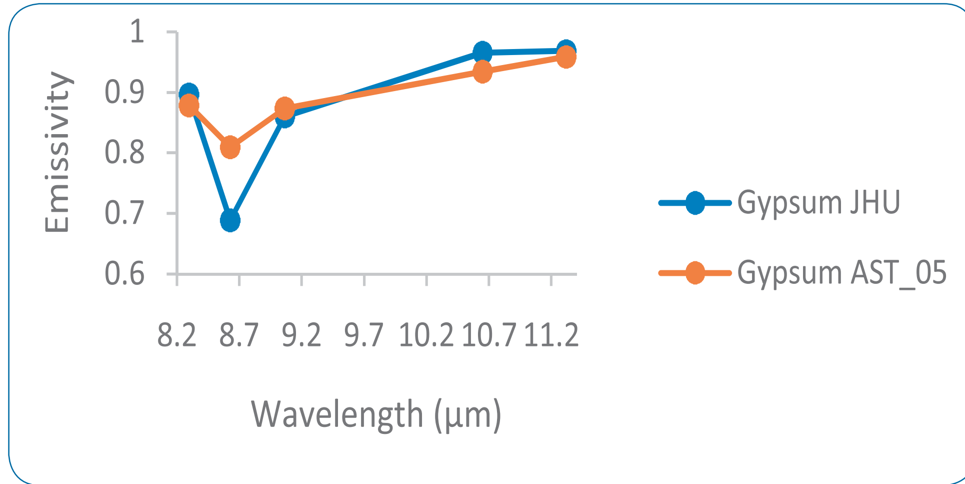


الشكل (10-15): خارطة التراكيب الجيولوجيه في طيب الاسم، مدين، المملكة العربيه السعوديه باستخدام صور لاندسات 7 (Kassem et al., 2016)

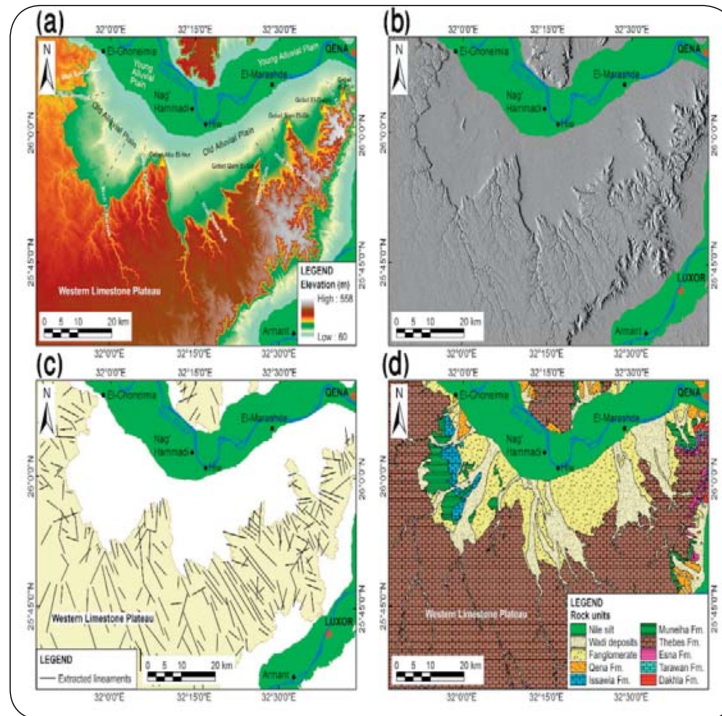


الشكل (10-16): صورة فضائية ملتقطة بواسطة لاند سات ٨ لمنطقة الخنيقية ، المملكة العربية السعودية توضح نطاقات Gossan باللون الأخضر (Gahlan and Ghrefat, 2018)



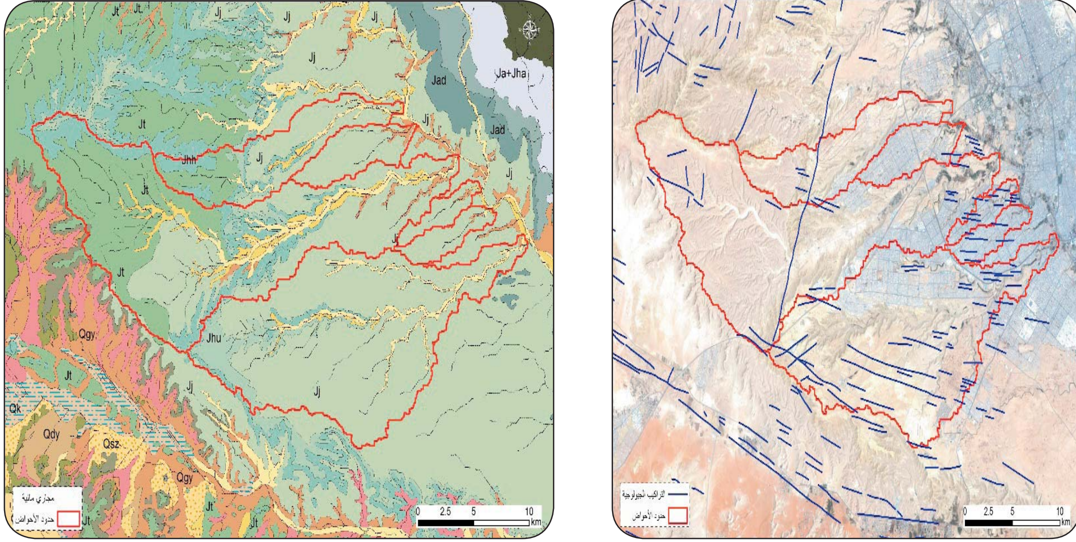


الشكل (10-17): الشكل الطيفي لرواسب الجبس في منطقة مدين، المملكة العربيه السعوديه باستخدام بيانات استر الحراريه (Ghrefat, 2020)



الشكل (10-18): استخدام الاستشعار عن بعد في التطبيقات الجيولوجية بمنطقة غرب قنا، مصر (Gaber et al., 2020)





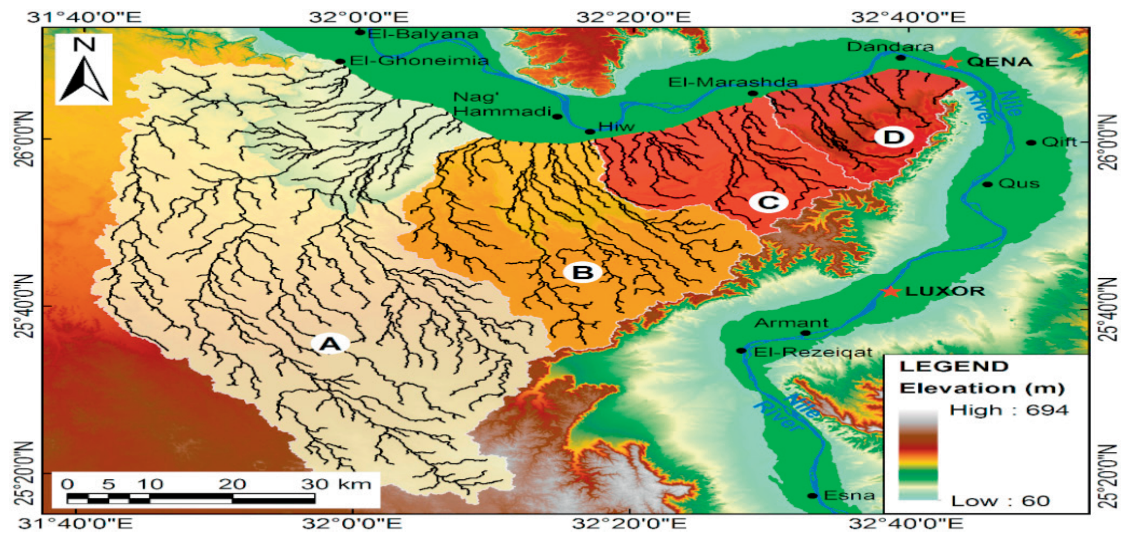
الشكل (10-19): استخدام نتائج مخرجات الاستشعار عن بعد في التطبيقات الجيولوجية بمدينة الرياض (Loni, 2020)

10-11-2 التطبيقات الهيدرولوجية

يهتم علم الهيدرولوجيا بدراسة المياه على سطح الأرض سواء كانت تتدفق فوق سطح الأرض، أو مجمدة في الثلج، أو تحتفظ بها التربة. ولأن معظم العمليات الهيدرولوجية ديناميكية على مر السنوات وأيضًا داخل الفصول، تتطلب التطبيقات الهيدرولوجية رصد متكرر للمرئيات وهذه ميزة من مميزات الاستشعار عن بعد. يقدم الاستشعار عن بعد رؤية شاملة للتوزيع المكاني وديناميكيات الظواهر الهيدرولوجية التي يتعذر الوصول إليه عن طريق المسوحات الأرضية التقليدية. تشمل التطبيقات الهيدرولوجية للاستشعار عن بعد: رسم خرائط ومراقبة الأراضي الرطبة، تقدير رطوبة التربة، رصد ومراقبة حركة وامتداد الجليد والثلاجات، تقدير سمك الجليد، مراقبة الانهار والبحيرات الجليدية، رصد ومراقبة الفيضانات، رصد التغيرات فى الانهار والدلتاوات، رسم خرائط قنوات الصرف ومستجمعات المياه، اكتشاف التسريب فى قنوات الري، وجدولة مواعيد الري. يوضح الشكل (10-20) مثال لاستخدام الاستشعار عن بعد في تحديد قنوات الصرف وتجمعات المياه



المختلفة بمنطقة غرب قنا بمصر. يوضـح الشكل (10-21) أمثلة لاستخدام نتائج مخرجات الاستشـعار عن بعـد في التطبيقـات الهيدروجيولوجية بمدينـة الرياض – المملكـة العربية السعودية.



الشكل (10-20) : استخدام الاستشعار عن بعد في التطبيقات الهيدرولوجية بمنطقة غرب قنا، مصر (Gaber et al., 2020)



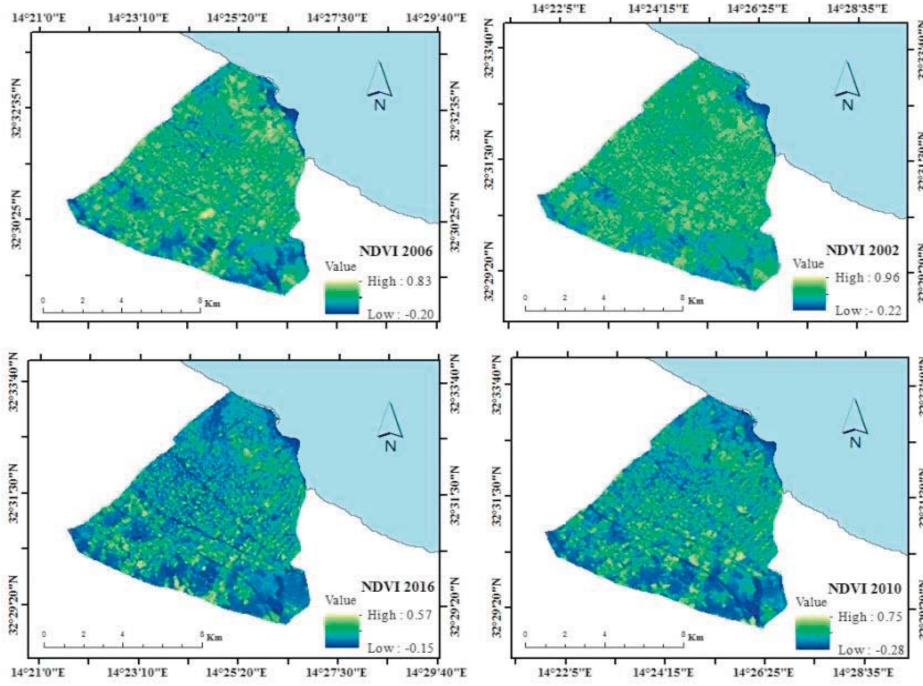
الشكل (10-21): استخدام نتائج مخرجات الاستشعار عن بعد في التطبيقات الهيدرولوجية بمدينة الرياض(Loni, 2020)



3-12-10 التطبيقات الزراعية

تعـد مرئيات الاستشـعار عـن بعد وسـيلة فعالة وموثوقة مـن أجل رسـم خرائط لأنواع المحاصـيل وتحديد المساحة المزروعة منها وتقدير انتاجها ومراقبة خطوات الزراعة وكذلك تدهور التربه بفعل الملوحه. فالمرئيات البصرية متعددة النطاقات تقدم معلومات حول صحة وجودة النبات والاكتشـاف المبكر لأمراض النباتات ومتابعـة مراحل ومعدلات نموه المختلفة وموعد الحصاد. وبالتالي يتطلب ذلك الحصول على مرئيات متكررة بحد اقصى اسبوعياً. بالإضـافة الى ذلك يمكن ان توفر مرئيات الـرادار معلومات عن التوزيع والتركيب ومحتوي الرطوبة. وبالتالي فإن تقديم هذه المعلومات السـريعة للمزارعين سـوف يساعد على الإدارة الجيدة للعملية الزراعية وتقليل الخسـائر من خلال اتخاذ قرارات سـليمة وسريعة لحماية النباتات من الأمراض وتحديد نوع وكمية السماد المطلوبة.تحتوي النباتات الصحية السليمة على كميات كبيرة من الكلوروفيل الذي يعطي معظم النباتات لونها الأخضر المميز. وبالتالي يكـون الانعكاسـ الطيفي لها في النطاقـات الطيفية الازرق والاحمر منخفضًـا حيث يمتص الكلوروفيـل هـذه الطاقة، بينمـا يكون الانعكاسـ مرتفـع في النطاقات الطيفية الخضـراء والأشـعة تحت الحمراء القريبـة. في المقابل، تعاني النباتات المريضـة من انخفاض محتوي الكلوروفيل وبالتالي انخفاض فى الانعكاس الطيفي فى النطاقات الخضـراء والاشـعة تحت الحمراء القريبة. وبالتالي يمكن اعتبار نسـبة الأشـعة تحت الحمراء المنعكسـة إلى الطيف الأحمر مقياسـاً ممتازاً لصـحة النباتات. هذا هو الأساس الذي تعتمد عليه بعض مؤشرات الغطاء النباتي التي تفحص صـحة النباتات، مثل مؤشـر او معامـل التغير الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI)، وبالتالي فالنباتات السـليمة سـيكون لها معامـل NDVI مرتفع والنباتات المريضـة سيكون لها معامل NDVI منخفض. ويتراوح قيمه هذا المعامل من -1 الى 1.يوضح الشـكل (10-22) مثالاً لتطبيق الاستشـعار عن بعد في مجال الزراعةلدراسة حالة التدهور للغطاء النباتي في الفترة من 2002-2016م،من خلال حساب مؤثر NDVI. وقد أثبت مؤشر NDVI بوضـوح تدهور حالة الغطاء النباتي في منطقة الدراسـة حيث انخفضت قيمة معامل NDVI مع مرور الزمن.





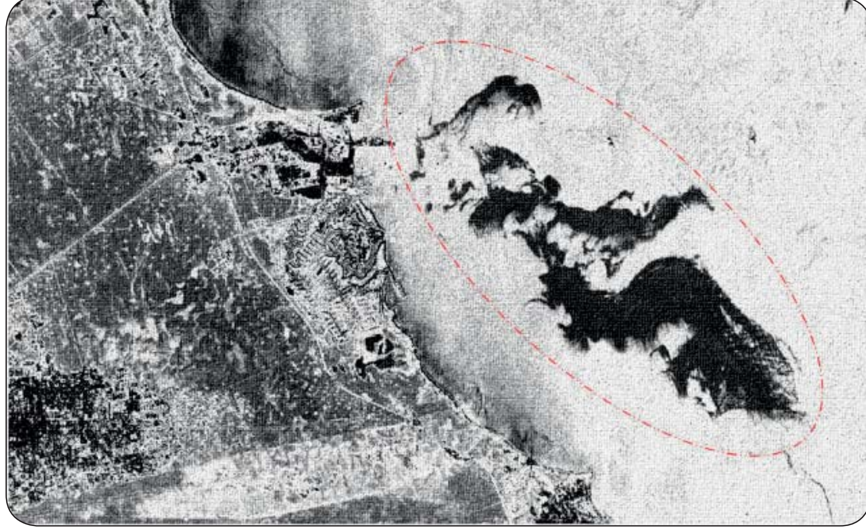
الشكل (10-22): مؤشر الغطاء النباتي NDVI المستنتج من مرئيات القمر الصناعي لاندسات لمنطقة شمال غرب ليبيا الملتقطة في أعوام مختلفة

10-12-4 التطبيقات البيئية

تعد تقنيات الاستشعار عن بعد وسيلة للحفاظ على البيئة، حيث يمكن تحليل مرئيات الأقمار الصناعية من مراقبة ورسم خرائط تلوث المياه والهواء وسطح الارض. نظراً لان مرئيات الاستشعار عن بعد لها القدرة على تغطية مساحات واسعة من الأرض فهي تمكن من تحديد مصادر التلوث وامتداده المساحي وتركيزه وسرعة تدفقه وجريانه ومقدار تشتته ايضاً. ومن تطبيقات الاستشعار عن بعد فى مجالات تلوث البيئة مراقبة البقع الزيتية ذات الامتداد الواسع المسربة من السفن وناقلات النفط، الكشف عن القاء فضلات ومخلفات محطات الطاقة ذات درجة الحرارة المرتفعة في مياه الأنهار والبحار، ويستخدم في ذلك المرئيات الملتقطة في مجال الأشعة الحرارية، تحت الحمراء (مثل لاندسات واستر)، والتي تتيح إمكانية رسم خريطة لتوزيع درجة حرارة سطح الماء الملوث.يوضح الشكل (10-23)



استخدام المرئيات الرادارية للقمر الصناعي الفرنسي Sentinel-1 في مراقبة البقع الزيتية في الخليج العربي بين الكويت والمملكة العربية السعودية حيث تظهر مناطق الانسكاب النفطي باللون الاسود.

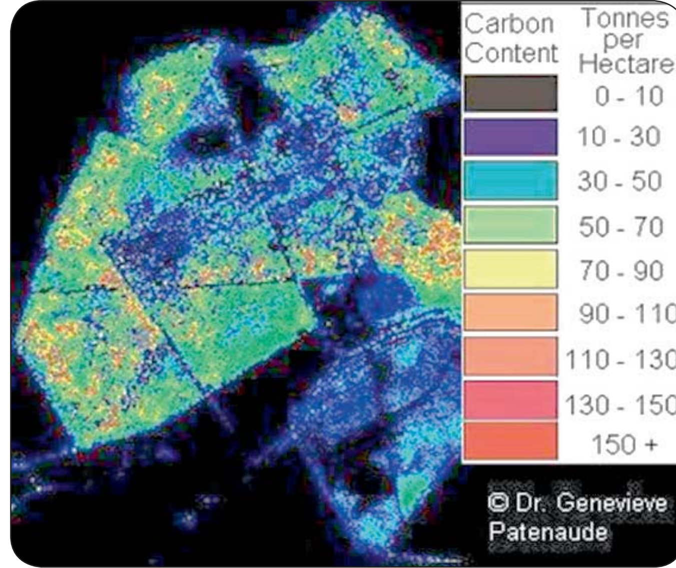


الشكل (10-23): استخدام المرئيات الفضائية في مراقبة البقع الزيتية في الخليج العربي

10-12-5 مراقبة إزالة وحرائق الغابات

تعد ازالة الغابات مشكلة عالمية كبري لها تأثيرات متعددة فإزالة الغابات يدمر الكثير من الاراضي الزراعية والمراعي ويؤدي الي زيادة تعرية التربة وملوحة الأنهار ويؤثر على الحياة البرية ومصادر مياه الشرب. توفر المرئيات متعددة النطاقات وسيلة جيدة لتحليل التغيرات change detection، حيث يتم دمج مرئيات من سنوات سابقة مع مرئيات حديثة ومن ثم قياس الفروق في مساحة وامتداد الغابات. أيضا يمكن الاستفادة من المرئيات الرادارية في تحديد المناطق الأكثر عرضة لهذه المشكلة وتحديد أسبابها. وفي البلدان التي يسمح بها بقطع الأشجار فإن الاستشعار عن بعد يكون آداة جيدة لمراقبة مناطق ومواصفات هذه الأنشطة. يوضح الشكل (10-24) مرئية للمستشعر LiDAR توضح التغير في محتوي الكربون فوق أحد الغابات ببريطانيا.





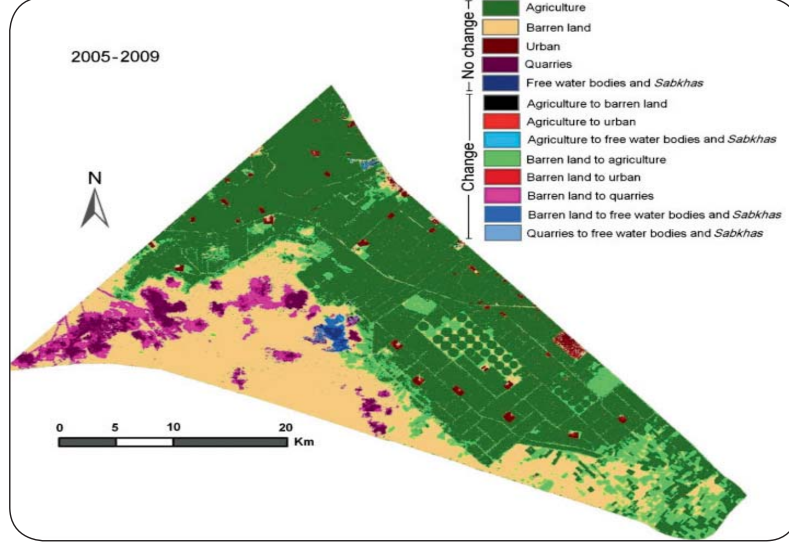
الشكل (10-24): التغير في محتوي الكربون فوق أحد الغابات ببريطانيا (UK Forestry Comission)

10-12-6 رصد الغطاء الارضي واستخدامات الأراضي

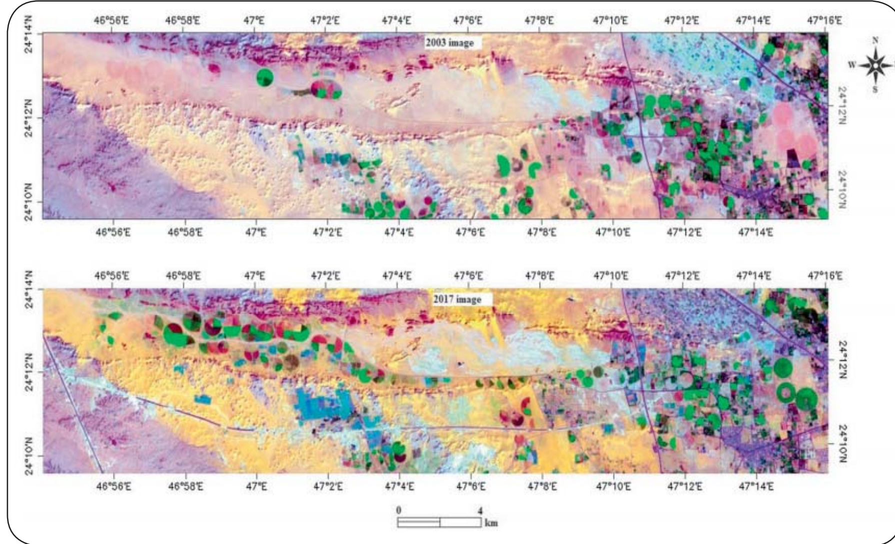
يشير مصطلح الغطاء الأرضي الى كل ما يغطي سطح الأرض مثل النباتات والمنشئات والمياه والتربة، أما استخدام الأراضي فيشير الى الهدف الذي تخدم من اجله الأرض كالزراعة والصناعة والعمران. تُعد بيانات الاستشعار عن بُعد مفيدة في الحصول على خرائط محدثة للغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي للمناطق الشاسعة في أي وقت محدد وكذلك مراقبة التغييرات التي تحدث فيها من وقت لآخر. فيمكن استخدامها لمراقبة التوسع العمراني للمدن وتناقص الرقعة الزراعية ولتحديث خرائط الطرق وبالتالي فان الاستشعار عن بعد يعد اداة مهمة للغاية لوضع خطط التنمية العمرانية حتى لا تجير على الأراضي الزراعية (الشكل 10-25). فقد تساهم المرئيات في اختيار أفضل المواقع لإقامة المنشآت العمرانية والصناعية والهندسية، كالسدود، والطرق، والسكك الحديدية، والأنفاق، ومحطات الطاقة المختلفة. ومن هنا فمثل هذه التطبيقات تعتمد على خاصة التكرارية للمرئيات الفضائية وتحتاج لدقة مكانية عالية بهدف التحديد الدقيق للمناطق المختلفة والقدرة على التميز بين الاستخدامات المختلفة. الشكل (10-26) يوضح التغير في الغطاء الأرضي في وادي نساح،



المملكة العربيه السعوديه باستخدام بيانات لاندسات 7 ولاندسات 8. حيث اظهرت النتائج وجود تغير في الغطاء الارضي وخصوصا الانشطة الزراعيه في الفتره ما بين 2003 و 2017.



الشكل (10-25): خريطة التغير في الغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي في غرب دلتا النيل بمصر المستنتجة من مرئيات القمر الصناعي لاندسات (El-Kawy et al., 2011)

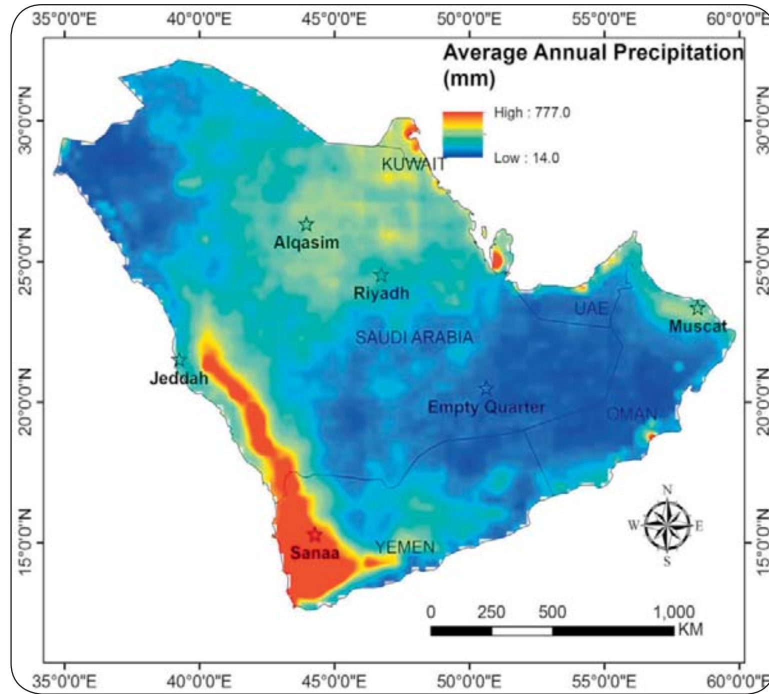


الشكل (10-26): خريطة التغير في الغطاء الأرضي في وادي نساح، السعوديه باستخدام بيانات لاندسات 7 ولاندسات 8 (Gubran et al., 2019)



7-12-10 التنبؤ بالطقس

توفـر أنظمة الأقمار الصـناعية فرصـة فريدة لمراقبة وملاحظة عمليـات وديناميكيات الغلاف الجوي بشـكل مستمر ودقيق وتقليل الاعتماد على جمع بيانات الطقس من المحطات الارضـية. في الواقـع، تعتمد دقة التنبؤات بشـكل أساسـي على كيفية وصـف الحالة الأولية للغلاف الجوي وهذا يتطلب قياسـات مفصـلة في كامل عمق الغلاف الجوي. تحتاج تنبؤات الطقس قياسـات دورية كل نصف ساعة أو أقل. تمكن الأقمار الصناعية من تقديم قياسات مكانيـة وزمنيـة عن كمية الاشـعاع ودرجات الحـرارة والرياح وكميات بخار المـاء والغازات الأخرى والهباء والغبار الجوي والسـحب والامطار (Thies and Bendix, 2011). يوضح الشـكل (10-27) مثـال لخرائط الامطار التـي تقوم بجمعها مهمة قياس تسـاقط الأمطار الاستوائية TRMM الخاصة بوكالة الفضاء ناسا.



الشكل (10-27): متوسط سقوط الامطار السنوي فوق المملكة العربية السعودية المشتق من بيانات الامطار TRMM (Alharbi, 2014)



13-10 نظم المعلومات الجغرافية Geographic information system (GIS)

نظم المعلومات الجغرافية هو نظام حاسوبي يعمل على جمع، وإدخال، ومعالجة، وتحليل، وعرض، وإخراج البيانات والمعلومات عن الأهداف ذات الطبيعة المكانية. يقصد بالطبيعة المكانية ان الأهداف لها موقع جغرافي على سطح الأرض، مثل بيانات الأنهار والغابات والأراضي الزراعية والمباني والطرق والجسور والسدود. يتيح لنا هذا النظام إدخال المعلومات الجغرافية (في شكل خرائط وصور جوية وصور الأقمار الصناعية) والمعلومات الوصفية (أسماء وجداول) ومعالجتها وتخزينها واسترجاعها واستفسارها وتحليلها مكانياً وإحصائياً وعرضها في شكل خرائط، وتقارير ورسوم بيانية. وتساعد نظم المعلومات الجغرافية في الإجابة عن كثير من التساؤلات مثل التي تخص التحديد (مثل ما أنواع المحاصيل المناسب زراعتها في منطقة ما)، القياسات (مثل كم تبلغ مساحة مدينة ما)، والموقع (مثل أين تقع مدينة ما)، والشرط (مثل ماهي المدن التي عدد سكانها أكثر من ٥ مليون نسمة)، والتغير (مثل ما هوالتغير الذي حصل لمدينة ما منذ عام مثلا 1990)، والتوزيع النمطي (مثل ماهي العلاقة بين توزيع السكان ومناطق تواجد المياه)، وأنسب الطرق (مثل ما هو أنسب طريق بين مدينة ما والأخرى)، والسيناريوهات (ماذا قد يحصل إذا زاد عدد سكان مدينة ما عن 10 مليون نسمة).

1-13-10 مكونات نظام المعلومات الجغرافية

نظم المعلومات الجغرافية لها مميزات عديدة فهي تساعد على دمج المعلومات المكانية والوصفية لمنطقة ما في قاعدة معلومات واحدة، توثيق وتأكيد المعلومات، سرعة الوصول إلى كمية كبيرة من المعلومات بفاعلية عالية،إتخاذ قرارات في أسرع وقت والاجابة على الاستعلامات والاستفسارات بسرعة وبدقة عالية، كما لها قدرة تحليلية مكانية عالية، القدرة على التمثيل المرئي للمعلومات، تساعد فى تخطيط المشاريع الجديدة التوسعية، كما تمكننا من محاكات الاقتراحات الجديدة والمشاريع التخطيطية ودراسة النتائج قبل التنفيذ الفعلي لها على ارض الواقع.



تتكون نظم المعلومات الجغرافية من خمسة عناصر أساسية هي المعلومات المكانية والوصفية وأجهزة الحاسب الآلي والبرامج التطبيقية والقوة البشرية (الأيدي العاملة) والمناهج التي تستخدم للتحليل المكاني.

1 - البيانات المكانية والوصفية

هناك عدة طرق يمكن من خلالها الحصول على البيانات المكانية أو الجغرافية، منها ما يعرف بالمعلومات الأولية والتي يمكن جمعها بواسطة المسح الأرضي، والتصوير الجوي، والاستشعار عن بعد، والنظام العالمي لتحديد المواقع (GPS). ومنها ما يعرف بالمعلومات الثانوية والتي يمكن استخراجها من الخرائط الورقية بواسطة استخدام الماسح الضوئي. ولكي تصبح الخريطة مقروؤة لابد من إضافة معلومات وتفاصيل وصفية كالتعريف بأسماء المناطق.

2 - أجهزة الحاسب الآلي والبرامج التطبيقية

يمثل الحاسب العنصر الدماغي في نظام المعلومات الجغرافية حيث تقوم بتحليل ومعالجة البيانات التي تم تخزينها في قواعد بيانات ضخمة. يتم تخزين البيانات في صورة طبقات منفصلة للتغلب على المشاكل التقنية الناجمة عن معالجة كميات كبيرة من المعلومات دفعة واحدة. وقد شهدت السنوات الماضية تطورا تكنولوجياً ملحوظاً في الحاسب الآلي خاصة في السرعة، السعة التخزينية، والذاكرة اللحظية. هذا التطور أدى إلى سرعة إنجاز كثير من عمليات التحليل المكاني في وقت قصير. توجد برامج تطبيقية عديدة مخصصة لنظم المعلومات الجغرافية منها ما يعمل بنظام المعلومات الاتجاهية مثل ArcGIS و QGISواخرى تعمل على نظام الخلايا مثل ERDASIMAGINE.

3 - القوة البشرية (الأيدي العاملة)

تعتبر القوة البشرية جزءا هاما وعاملا أساسيا في نظم المعلومات الجغرافية وتشمل مثلا أعضاء هيئة التدريس، والفنيين، والمستخدمين. والنقاط التي يجب وضعها في الاعتبار بالنسبة للقوة البشرية تتعلق بالتعليم، والتدريب، والميزانية، والادارة، والأمن، والقانون،



وكيفية التنسيق وتبادل المعلومات بين المؤسسات. نجد أن القوة البشرية تضم أشخاصا من مختلف التخصصات من إداريين واقتصاديين ومبرمجين ومهندسين وجغرافيين. وللقيام بأي مشروع في مجال نظم معلومات الجغرافية لابد من إشراك كل العاملين في المؤسسة في خطوات تنفيذ المشروع من تحليل المتطلبات وتحديد الأهداف ودراسة الجدوى ودراسة الفائدة الاقتصادية من المشروع وعمل نموذج للدراسة وتحديد المتطلبات وطلب المقترحات من الشركات وتحديد أنسب المقترحات وفى وضع الخطة التنفيذية للمشروع.

4 - مناهج التحليل المكاني:

تكمن قوة وأهمية نظم المعلومات الجغرافية في مقدرتها على التحليل المكاني والإحصائي. وهناك عدة مجالات يمكن تسخير نظم المعلومات الجغرافية لخدمتها وعلى سبيل المثال التحليلات التي تعتمد على عامل الزمان والمكان (تغير استعمال الأراضي)، وتحديد مواقع جديدة (مصنع، مزرعة، ومدرسة)، وأنسب الطرق بين نقطتين (نقل البضائع، وتوزيع الخطابات والحاويات، وما شابه ذلك)، وتخطيط المدن، والشرطة والدفاع والدراسات الاستراتيجية. ولاستخدام نظم المعلومات الجغرافية لابد من وجود خطة مدروسة، وأهداف محددة، ومنهجية بحثية.

2-13-10 تطبيقات واستخدامات نظم المعلومات الجغرافية في المجالات المختلفة

إن القدرة الفائقة لنظم المعلومات الجغرافية في عملية البحث في قواعد البيانات وإجراء الاستفسارات المختلفة ثم إظهار هذه النتائج في صورة مبسطة لمتخذ القرار جعلها آداة مهمة جداً في العديد من المجالات، منها:

1 - إدارة الأزمات

تتوفر إمكانية تحليل شبكات الطرق والبنية الأساسية لتحديد أقصر المسارات بين نقطتين وكذلك انسب المسارات بين مجموعة من النقط كما يفيد في تسهيل عملية صيانة الشبكات الجديدة مما يوفر الوقت والجهد وعادة ما تكون الأزمات مكانية مثل (الفيضانات والزلازل والحرائق والاعاصير وانتشار الأوبئة والاضطرابات العامة والمجاعات) ومن هنا فإن امتلاك الخرائط والمعلومات يعتبر امرأ هاما لإدارة الكارثة.



2 - الخدمات الطبية الطارئة:

تعتبر نظم المعلومات الجغرافية إحدى الأدوات الجيدة للإسعافات الطبية الطارئة حيث توفر بيانات عن أنواع الحوادث والبيانات السكانية الخاصة بهذه الحوادث ويمكن عرضها بسرعة وسهولة وتساعد أيضا على سرعة استجابة نظام الخدمات الطبية الطارئة من خلال تحديد اقرب وحدة إسعافات إلي مكان الاتصال المبلغ عن الحادث وأقصر الطرق والطرق البديلة للوصول إليه بالإضافة إلي إمكانية القيام بتحليلات مختلفة للمعلومات المختزنة في قواعد البيانات بحيث يمكن معرفة سرعة ومدى انتشار عدوى لداء أو وباء قبل انتشاره الفعلي مما يساعد على التخطيط .

3 - التخطيط العمراني

يفيد نظام المعلومات الجغرافي في تقييم أداء الخدمات المختلفة (تعليمية – صحية – أمنية - .... الخ) لتحديد المناطق المحرومة لإعادة توزيع الخدمات فيها. كما يفيد في مقارنة ما هو مخطط بما هو واقع بالفعل لمنطقة معينة لتحديد الملكيات والمسئوليات القانونية، ويساهم في بناء نماذج رياضية للمناطق العشوائية عن طريق تحديد اتجاهات النمو العمراني فيها للحد من انتشارها وكذلك تطوير المناطق القائمة.

4 - حماية البيئة

تقوم نظم المعلومات الجغرافية بتعريف ودراسة العديد من البيئات في اتجاهات عديدة خاصة بطبيعتها الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية والمناخية ويقوم بتتبع التغيرات الحادثة في منطقة معينة وتقدير التأثيرات المختلفة على المناطق المجاورة عن طريق مقارنة مجموعة من الصور والخرائط في تواريخ مختلفة.

5 - الدراسات الاقتصادية والاجتماعية

تساهم نظم المعلومات الجغرافية في دراسة وتحليل الخصائص الاقتصادية والاجتماعية لمنطقة معينه بناء على معايير خاصة يحددها الخبراء وذلك لاستنتاج المؤشرات التنموية التي تساهم في اتخاذ قرارات مناسبة في كافة اتجاهات التطوير.



6 - إنتاج الخرائط لاستخدامات الأراضي والموارد الطبيعية

يمكن استخدام التقنيات الحديثة لنظم المعلومات الجغرافية لإنتاج خرائط توضح مناطق تجمع الموارد الطبيعية لمنطقة معينه (مياه – بترول – خامات معدنية ... الخ) التي توضح الاستخدام الحالي للأرض واستنتاج خرائط الاستخدام المستقبلي.

7 - استنتاج شكل سطح الأرض

يعطي نظام المعلومات الجغرافي في تصورا دقيقا لشكل سطح الأرض الذي سيتم العمل عليه، ويتم ذلك عن طريق إدخال الخرائط الكنتورية للمنطقة وباستخدام تكنولوجيا نظم المعلومات الجغرافية فيمكن من خلاله استنتاج كميات الحفر والردم في منطقة محددة أو تحديد أشكال مخرجات السيول واتجاهات الميول لأي منطقة.

8 - تحسين الإنتاجية

واحدا من أهم فوائد تكنولوجيا نظم المعلومات الجغرافية هو تحسين عملية إدارة الهيئة ومواردها المختلفة لان نظم المعلومات الجغرافية تمتلك القدرة على ربط مجموعات البيانات بعضها مع بعض مع المواقع الجغرافية مما يسهل المشاركة في البيانات وتسهيل الاتصال بين الأقسام المختلفة فعند بناء قاعدة بيانات موحدة يمكن لأحد الأقسام الاستفادة من عمل الآخر لأن جمع البيانات يتم مرة واحدة فقط، ويتم استخدامها عدة مرات مما يحسن من الإنتاجية وبالتالي تزداد الكفاءة الكلية للهيئة.

9 - اتخاذ القرارات المناسبة

تنطبق صحة القول المأثور (البيانات الأفضل تقود لقرار أفضل) تماما على نظم المعلومات الجغرافية لأنه ليس وسيلة آلية لاتخاذ القرار ولكنه آداة للاستفسار والتحليل مما يساهم في وضع المعلومات واضحة وكاملة ودقيقة أمام متخذ القرار كما تساهم نظم المعلومات الجغرافية في اختيار انسب الأماكن بناءا على معايير يختارها المستخدم مثل البعد عن الطريق الرئيسي بمسافة محددة وسعر المتر ليزيد عن سعر معين وتحديد حالة المرافق والبعد عن مناطق التلوث، فيقوم نظام المعلومات الجغرافية بإجراء هذا الاستفسار على



قواعد البيانات ويقوم باختيار مجموعة من المساحات التي تحقق هذه الاشتراطات ويترك لمتخذ القرار حرية الاختيار النهائي.

10 - بناء الخرائط

إن الخرائط لها مكانة خاصة في نظم المعلومات الجغرافية لأن عملية بناء الخرائط باستخدام نظم المعلومات الجغرافية تعد أكثر مرونة من أي طريقة يدوية حيث تبدأ هذه العملية ببناء قواعد البيانات ثم التحويل الرقمي للخرائط الورقية المتوفرة ثم يتم تحديثها باستخدام صور الأقمار الصناعية في حالة وجودها ثم تبدأ عملية ربط البيانات بمواقعها الجغرافية وعندئذ يكون المنتج النهائي من الخرائط جاهزا للظهور وهنا يتم إيضاح المعلومات المختارة برموز محددة على الخريطة لتوضيح خصائص محددة مثل إظهار مناطق الآثار أو مزرعة على الخريطة وذلك باستخدام رمز مفهوم وحدد وموزع على الخريطة.

10-13-3 تطبيق الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في استكشاف المياه الجوفية

يوضح هذا الجزء من هذا الفصل مثالاً تطبيقياً لاستخدام الاستشعار عن بعد في تقييم إمكانات المياه الجوفية في المناطق الصحراوية القاحلة حيث تكون المياه الجوفية هي المورد الرئيسي للمياه العذبة للأغراض المختلفة وأهمها الزراعة. تم استخدم صور الاستشعار عن بعد (DEM ، Landsat-8 ، ALOS/PALSAR, Sentinel-1، TRMM) ونظم المعلومات الجغرافية بإتباع منهجية غير مباشرة لتقييم إمكانات إعادة شحن وتخزين المياه الجوفية من المياه السطحية القديمة والحالية في السهول الغرينية القديمة لوادي النيل غرب مدينة قنا، مصر (Gaber et al., 2020). كانت الخطوات المتبعة كالتالي (1) تحديد ورسم خرائط للعوامل السطحية المختلفة التي يعتقد أنها تتحكم في ترشيح المياه السطحية لأسفل لإعادة شحن خزانات المياه الجوفية التحت سطحية؛ (2) إعادة تصنيف خريطة كل عامل فيما يتعلق بتأثيره على ترشيح المياه السطحية أو بمعنى أخر تأثيره على شحن الخزانات الجوفية (تسمي هذه الخطوة مرحلة إنتاج الطبقات المواضيعية Thematic layers) ؛ (3) إعطاء كل طبقة مواضيعية رتبة ووزن بناءً على تقييم أهميتها النسبية لشحن المياه الجوفية ؛ وأخيرا (4) دمج جميع الخرائط المواضيعية في نموذج نظم المعلومات الجغرافية GIS باستخدام أداة

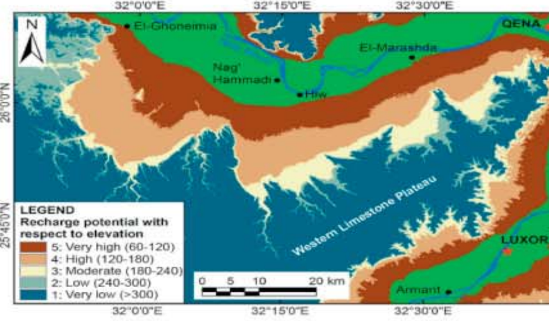


التراكـب المـوزون Weighted overlay tool ببرنامج نظم المعلومـات الجغرافية ArcGIS لإنتـاج الخريطة النهائية لإمكانات إعادة شـحن المياه الجوفية Groundwater recharge potentiality map. اعتمدت هذه الدراسة على ثمانية عوامل يعتقد أنها تؤثر على إمكانات الميـاه الجوفية وهي الارتفاع الطبوغرافي، انحدار السـطح، مسـتجمعات المياه، كثافة قنوات الصرف، كثافة التراكيب الخطية، كمية الأمطار، التركيب الصخري، وغطاء التربة.

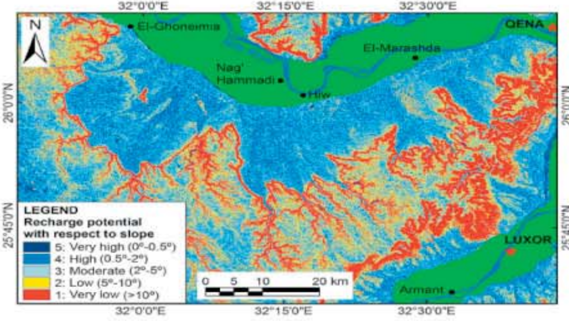
تم اسـتخدام بيانات نموذج الارتفاع الرقمي SRTM DEM (30 متر دقه مكانيه) لإنتاج خريطة ارتفاع سطح الأرض وحساب خريطة الانحدار السطحي، وتحديد خرائط مستجمعات المياه المختلفة بمنطقة الدراسـة وشبكات الصـرف التي تحتويها وكذلك حساب كثافة قنوات الصرف. ولاستخراج التراكيب الجيولوجية السطحية وحساب كثافتها تم استخدام مجموعة مختلفة من بيانات الاستشعار عن بعد الضوئية والرادارية والتي تمت معالجتها بطرق مختلفة لإظهار التراكيب لسـهولة تتبعها ورسمها، حيث اسـتخدم لهذا الهدف خرائط ظلال نموذج الارتفاع الرقمي DEM hillshade بزوايا ظلال مختلفة، صـور القمر الصـناعي لاندسـات Landsat-8 بتطبيق المرشـح الاتجاهي Sobel filter في اتجاهات مختلفة، وكذلك الصـور الرادارية ALOS/PALSAR-1 and Sentinel-1. وبالنسبة لبيانات الامطار فقد تم الاعتماد على بيانات متوسـط سـقوط الامطار السنوي (مم/السـنة) في الفترة من 1998 الى 2009 والتي قامت بتجميعها هيئة قياس تساقط الأمطار الاستوائية TRMM التابعة لوكالة الفضاء ناسـا. أما الوحدات الصـخرية وأنواع التربة التي تغطي المنطقة فقد تم رسمها من الخرائط الجيولوجية وخرائط التربة المتاحة. وفقًا لدراسة تأثير كل عامل على ترشيح المياه السطحية، تم إعادة تصنيف خرائط العوامل المختلفة التي تم الحصول عليها من بيانات الاستشعار عن بُعد والبيانات المسـاعدة (الارتفاع الطبوغرافي ، والانحـدار، وكثافة التراكيب الجيولوجية ، وكثافـة قنوات الصـرف، ومنافذ متجمعـات المياه، وهطول الأمطار، والوحدات الصـخرية ، وغطاء التربة) وتحويلها إلى طبقات مواضيعية مصنفة إلي خمس رتب ذات إمكانات مختلفة لإعادة الشحن وهي (مرتفعة جداً – مرتفعة – متوسطة – منخفضة – منخفضة جداً) وهي تكافئ مقياس رقمي يتراوح من 5 إلى 1، على التوالي (الشكل 10-28).



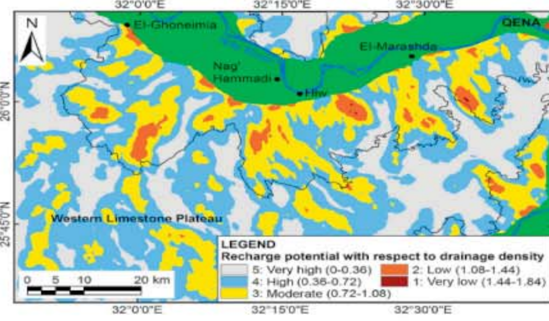
(a) Topographic elevation



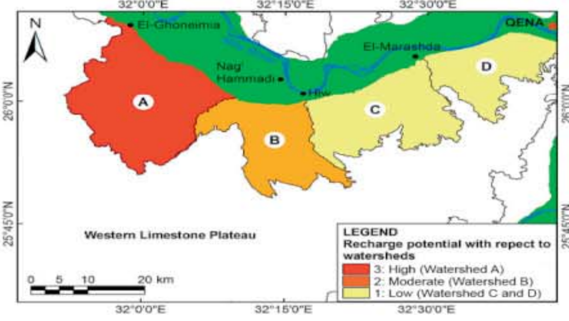
(b) Surface slope



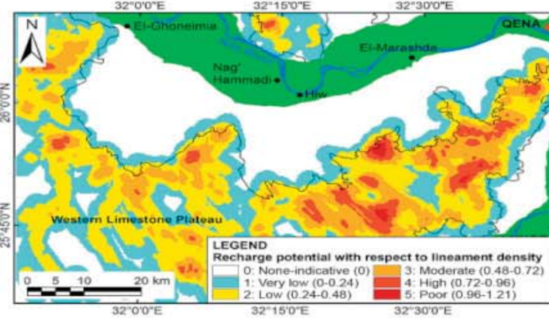
(c) Drainage density



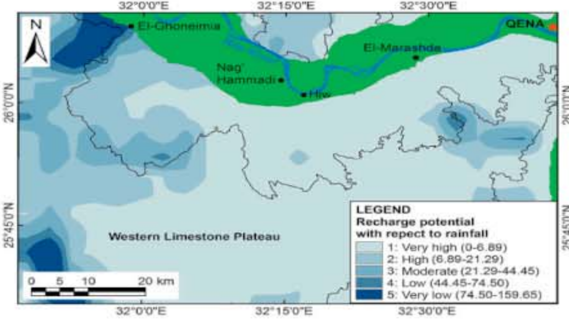
(d) Watershed outlets



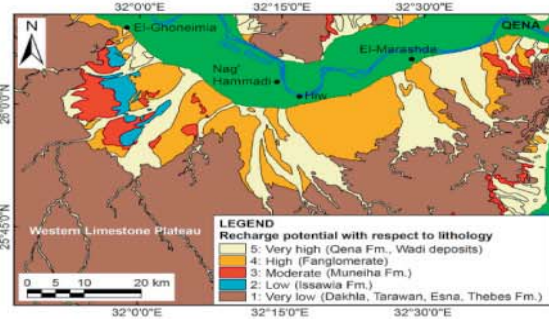
(e) Lineament density



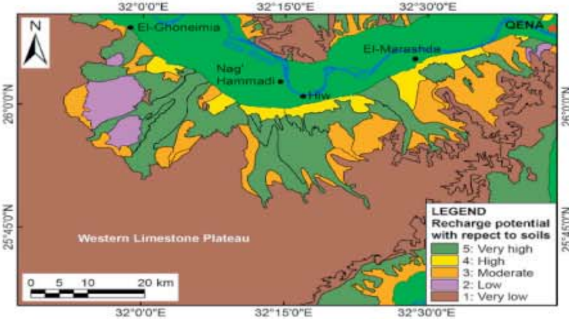
(f) Rainfall



(g) lithology



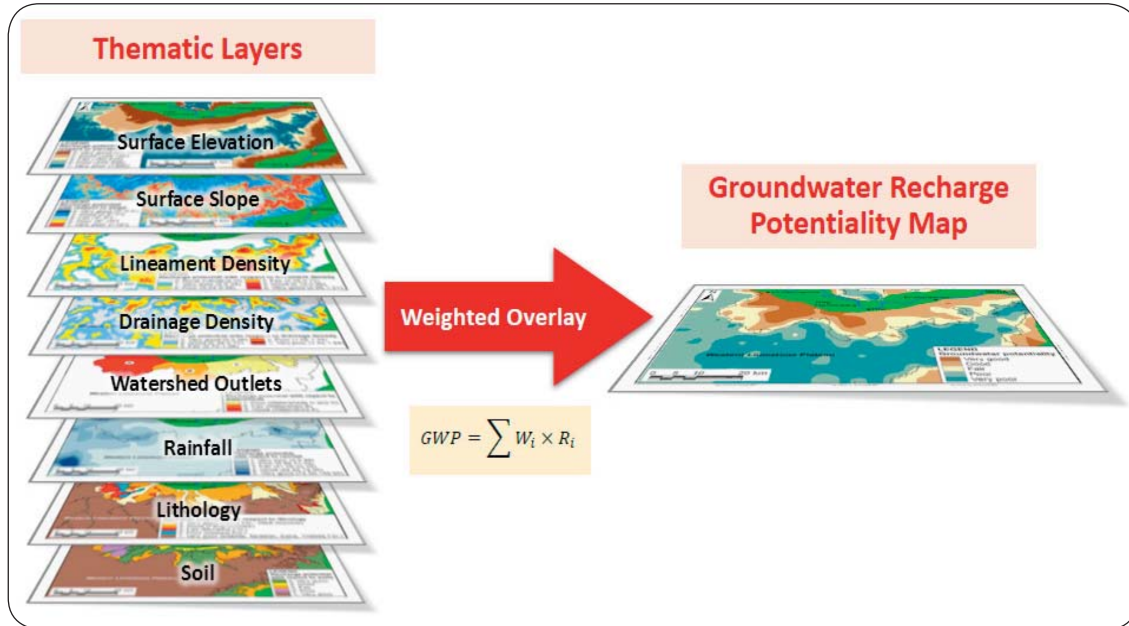
(h) Surface soil



الشكل(28-10): الخرائط الموضوعية للعوامل المختلفة المؤثرة على إعادة شحن المياه الجوفية



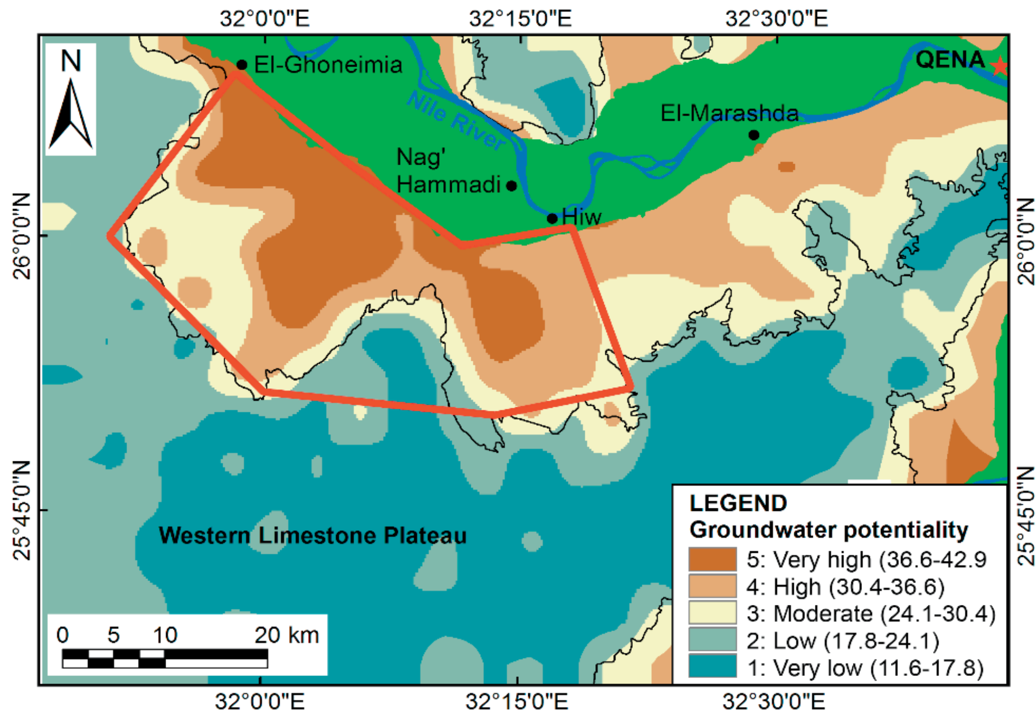
تعتبر الرتبة المرتفعة جدًا (5) هي الأفضل من حيث إعادة شحن المياه الجوفية على عكس الرتبة المنخفضة جدًا (1). ونظراً لأن لكل عامل من هذه العوامل تأثير جزئي فقط على عملية إعادة شحن المياه الجوفية، فمن الضروري دمج تأثيراتها معاً للحصول على صورة كاملة عن إمكانيات إعادة شحن المياه الجوفية. وهنا يأتي الدور على استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية GIS باستخدام أداة التراكب الموزون Weighted overlay tool في دمج الخرائط الموضوعية المشتركة مع بعضها البعض جغرافياً. في هذا السياق، يتم إعطاء كل خريطة مواضيعية رتبة على مقياس من 1 إلى 5 بناءً على تقييم التأثير النسبي لكل عامل على ترشيح المياه. ثم يتم تحويل رتب الخرائط إلى أوزان عن طريق قسمة رتبة الخريطة على المجموع الكلي لجميع رتب الخرائط ثم ضربها في 100. وأخيراً، يتم ضرب وزن كل خريطة في جميع الرتب التي تحتويها الخريطة ثم يتم دمج النتائج معاً لإنتاج خريطة إمكانية إعادة شحن المياه الجوفية (الشكل 10-29).



الشكل (10-29): استخدام نظم المعلومات الجغرافية في دمج الخرائط الموضوعية لإعادة شحن المياه الجوفية بتطبيق طريقة التراكب الموزون لإنتاج الخريطة النهائية لإمكانية إعادة شحن المياه الجوفية

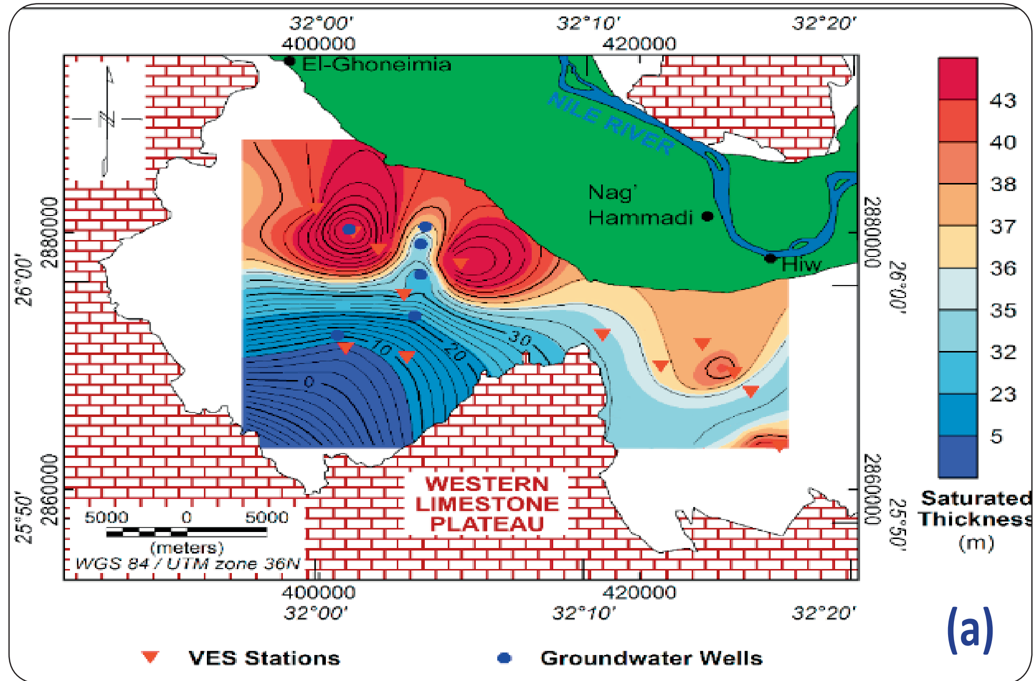


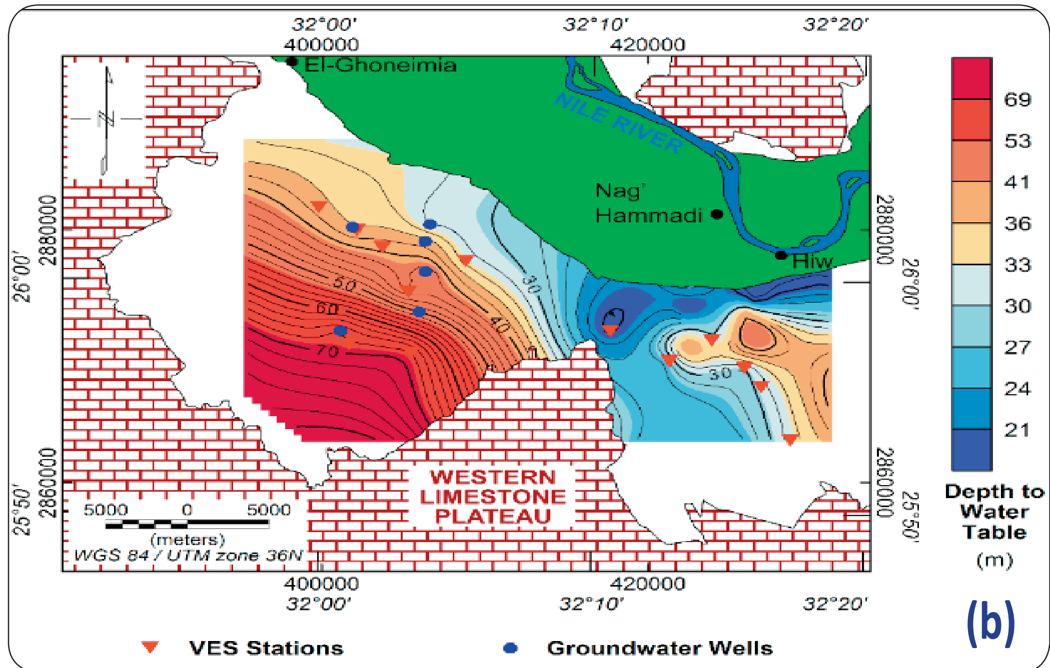
تم تصنيف خريطة إمكانية إعادة شحن المياه الجوفية النهائية لمنطقة غرب قنا، مصر إلى خمس نطاقات ذات قدرات مختلفة لإعادة الشحن (الشكل 10-30)، وهي تظهر ان السهول الغرينية القديمة تتميز بإمكانات متوسطة إلى عالية جداً، بينما تتميز الهضبة الجيرية الغربية بإمكانات منخفضة إلى منخفضة جداً. ووفقاً لهذه الدراسة فقد اتم اقتراح المنطقة الصحراوية الواقعة جنوب وجنوب غرب امتداد هيو-الغنيمية لاستكشاف المياه الجوفية والتحقق من نموذج نظم المعلومات الجغرافية باستخدام الطريقة الكهربائية بتطبيق تقنية الجس العمودي الكهربي VES. وقد أوضح تفسير الجسات الكهربائية أن النطاقات ذات إمكانات إعادة شحن المياه الجوفية المرتفعة جداً تتميز أيضا بسمك كبير للخزان التحت سطحي وتوجد بها المياه الجوفية على عمق ضحل على عكس باقي المناطق (الشكل 10-31).



الشكل (10-30): خريطة إمكانات المياه الجوفية لمنطقة غرب قنا، مصر المستنتجة من بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية







الشكل (10-31): (a) خريطة السمك المشبع من الخزان، (b) وخريطة عمق المياه الجوفية



الفصل الحادي عشر

الخرائط الطبوغرافية الكنتورية

Topographic Contour Maps

1-11 مقدمة

تم ابتــكار العديد من أنــواع الخرائط التخصصــية (منها الجيولوجيــة والطبوغرافية وخرائط الطرق وخرائط المدن وغيرها من الأنواع الأخرى) والتي تهتم بجميع فروع الهندسة المدنية والعســكرية والجيولوجيا والجغرافيا وفروعها وتم استخدام الألوان مثلا للتعبير عن بعض الظواهر والاشــكال الطبيعية. على ســبيل المثال لقد أســتخدم اللون الأزرق ليعبر عن المياه واللون الأخضــر ليعبر عن النباتــات والزراعــة، والأحمر للطرقات والأســود للكتابة. ولقــد تم إيجاد نوع من الخرائط وهي الخرائط الطبوغرافيــة بهدفاظهار البعد الثالث وهو



مناسيب النقاط والتي من خلالها يمكن رسم خرائط خطوط المناسيب أو خطوط الكنتور (Contour lines) لتعبر عن الظواهر الطبوغرافية (مثل الجبال والوديان وغيرها) ومن خلال هذه الخرائط يمكن رسم مكاشف الطبقات الأفقية والمائلة والطيات والفوالق وهو ما سيتم التركيز عليه في هذا الباب. هناك أيضا أنواع أخرى من الخرائط مثل خرائط الصور الجوية وخرائط الاستشعار عن بعد وهذه الأنواع خارج مجال الدراسة الحالي.

2-11 المفاهيم الأساسية

لفهم مثل هذه الخرائط الطبوغرافية لابد من أن نتطرق إلى بعض المفاهيم الأساسية التي تعتبر حجر الزاوية في دراسة هذه الخرائط والتي سيتم سردها كالتالي:

1-2-11 التضاريس (Topography)

تعرف التضاريس بأنها فروق في ارتفاع أو انخفاض سطح الأرض عن مستوى سطح البحر الذي يعتبر صفرا في جميع الأحوال. ويستخدم لقياس ارتفاعات واختلاف مستوى سطح الأرض جهاز قياس المناسيب (الثيودوليت Theodolite) وهو عبارة عن منظار خاص (تلسكوب) مثبت على قاعدة يمكن التحكم فيه بزاوية النظر. ويرافق الجهاز المذكور ذراع مدرج وتتم عملية قياس واحتساب ارتفاع سطح الأرض بين نقطتين الأولى عند موقع جهاز قياس المناسيب والأخرى المجهولة عند الذراع المدرج وذلك بقياس المسافة بين النقطتين وزاوية ميل جهاز قياس المناسيب التي تم احتسابها. يمكن توقيع قيمة المناسيب من خلال الطريقة الرياضية البسيطة (مثلث فيثاغورث). يمكن توقيع قيم المناسيب أيضا من خلال خرائط الصور الجوية والاستشعار عن بعد Arial photograph and Remote sensing. يمكن ايضا استخدام جهاز نظام تحديد المواقع GPS لتحديد الارتفاع بطريقة التثليث المساحي من خلال الأقمار صناعية.

2-2-11 الخرائط الطبوغرافية الكنتورية

هذه الخرائط عبارة عن مصورات خاصة تصف شكل سطح المنطقة المراد دراسة خصائص منكشف الصخوروطبيعة هذا السطح بما عليه من وديان وتلال وهضاب وسيول

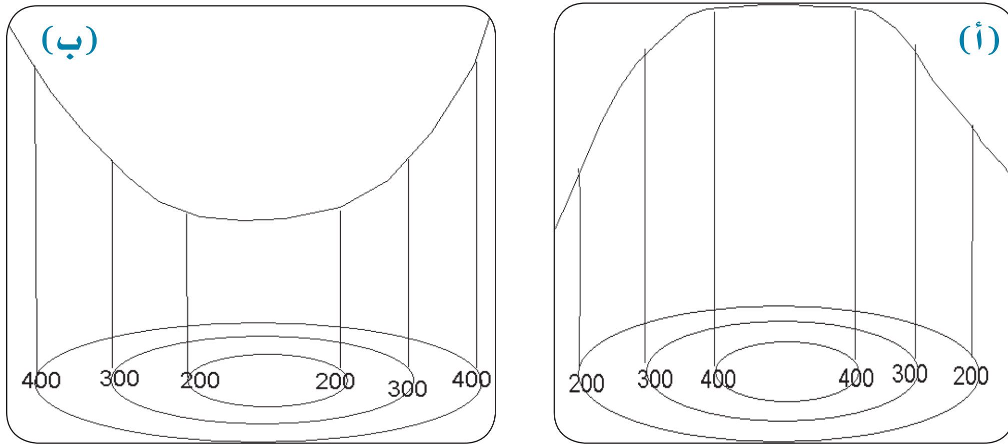


ومنخفضات وغيرها مما هو معروف باسم الظواهر أو المعالم الطبوغرافية وذلك نظرا لأن الخصائص الطبيعية لأي منكشف تتغير أساسا بالتغير في طبوغرافية أو تضاريس سطح الأرض الذي يظهر عليه هذا المنكشف. فالمنكشف outcrop الذي يظهر على سطح أرض منبسطة تظهر خطوط الكنتور على هيئة خطوط متباعدة مستقيمة ومتوازية تقريبا مع بعضها البعض. أما المنكشف الذي يظهر في الوديان الرئيسية تظهر خطوط الكنتور متعرجة شكلا على هيئة الحرف V. إن شكل وطبيعة سطح الأرض لأي منطقة يعبر عنهما في الخرائط الطبوغرافية على هيئة خطوط كنتورية تم تخطيطها من خلال القيم المتساوية للمناسيب والتي تعبر عن إرتفاع سطح الأرض بالنسبة لمستوى سطح البحر. وخط الكنتور يمكن تعريفه على أنه خط وهمي نتصوره مارا بجميع النقط التي يكون لها إرتفاع واحد على السطح الخارجي لأي معالم طبوغرافية. الفرق في القيمة بين خطي كنتوريين متتاليين يعرف بالفارق الكنتوري. ويتم اختيار هذا الفارق الكنتوري الذي يتناسب والخريطة بناءا على المعطيات والمعلومات المتوفرة وتضاريس المنطقة والغرض من الدراسة وأهدافها.

3-2-11 بعض الشواهد على الخرائط الطبوغرافية الكنتورية

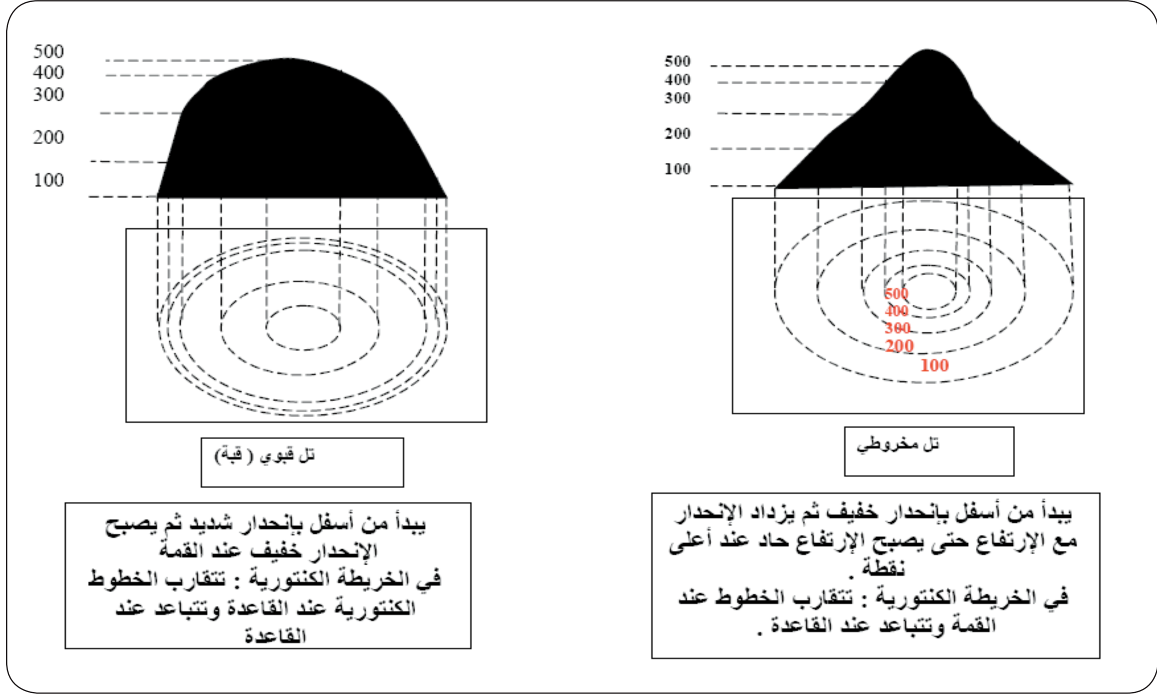
من خلال الإسقاط لبعض التضاريس نجد أن الخطوط الكنتورية الممثلة على خارطة طبوغرافية كثيرا ما تكون فيما بينها أشكالا وأنماطا مختلفة لكل منها ارتفاعاتها الخاصة بها والتي تشير إلى نوعية معينة من الظواهر الطبوغرافية المختلفة. فمثلا نجد القمم والمنخفضات تشكل خطوط كنتورية مغلقة حيث تزداد خطوط الكنتور قريبا نحو للداخل في القمم وتقل في المنخفضات (الشكل 11-1). إذا ظهرت الخطوط الكنتورية على هيئة خطوط دائرية غالبا ما تكون متحدة المركز دل ذلك على وجود ما يعرف بالتل المخروطي كما بالشكل (11-2)، بينما يظهر التل البيضاوي على هيئة خطوط كنتورية بيضاوية وفي كلتا الحالتين تزداد الخطوط الكنتورية كلما اتجهنا إلى قمة التل. ويكون عكس ذلك في المنخفضات المخروطية والمستطيلة الشكل، حيث تقل خطوط الكنتور كلما اتجهنا ناحية قاع المنخفض. وقد يحدث أن تتخذ خطوط الكنتور الممثلة لوجود تلين متجاورين في خارطة واحدة ليشكل ما يعرف بالسرج (Saddle) كما هو موضح بالشكل (11-3). هذا السرج يمثل على الخارطة

الكنتورية بالمنطقة الخالية من خطوط الكنتور والمحصورة بين طي الكنتور المتساويين في القيمة لهذين التلين المتجاورين. نجد أيضا أن الهضاب بصفة عامة هي مسطحات واسعة من الأرض على ارتفاعات كبيرة بالنسبة لما يحيط بها من معالم طبوغرافية أخرى فإنها تمثل بخطوط كنتورية متحدة المركز ومتدرجة الارتفاع نحو الداخل بحيث يحصر أعلى كنتور فيما بينه مسافة واسعة من الأرض، وفي هذه الحالة تعتبر أي نقطة داخل هذه المساحة الواسعة من الأرض لها نفس ارتفاع خط الكنتور التي يحيط بها. يجب الأخذ في الاعتبار أنه كلما زاد انحدار سطح الأرض كلما قلت المسافة بين خطوط الكنتور. وقد يصل هذا الانحدار أقصاه ويصل إلى الوضع العمودي ليكون ما يعرف بالأكمة(الجرف cliff) . هذه الظاهرة تظهر على الخرائط الكنتورية بخطوط كنتورية قصيرة ومتقاربة وعمودية على اتجاهات خطوط الكنتور للظواهر الطبوغرافية الأخرى التي تحط بها. تظهر خطوط الكنتور في حالة الأنهار والوديان على شكل حرف V حيث يشير رأس V إلى اتجاه المنبع والانفراج إلى اتجاه المصب (الشكل 11-3).

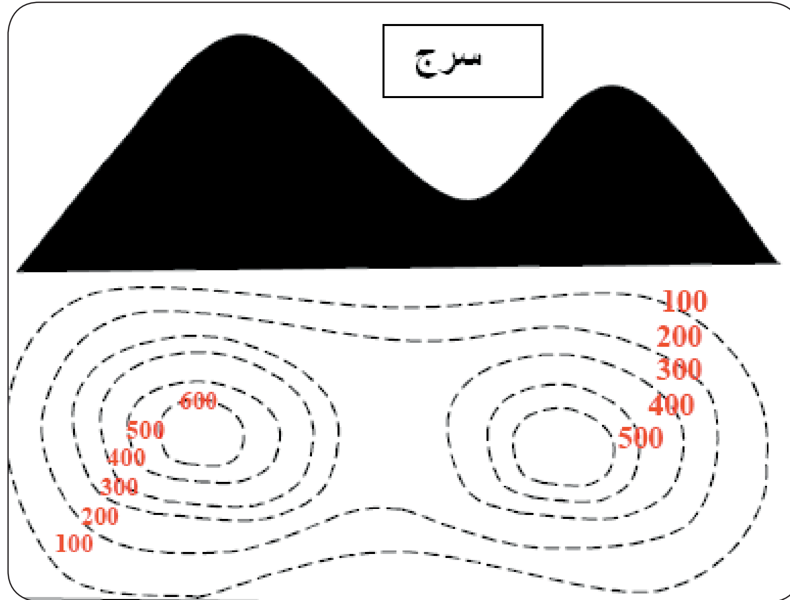


الشكل (11-1): يوضح قيم خطوط الكنتور في حالة القمم (أ) والمنخفضات (ب)





الشكل (11-2): يبين شكل خطوط الكنتور في وجود تل مخروطي وتل قبوي



الشكل (11-3): يوضح ظاهرة السرج على الخريطة الكنتورية

4-2-11 طريقة رسم الخطوط الكنتورية

1 - يتم أولا اختيار الفارق الكنتوري (المسافة الكنتورية مثلا 20 متر او 100 متر بين كل خـط كنتور والخط المجاور له) والذي من خلاله سـيتم إعطاء قيم للخطوط الكنتورية.

2 - يتم تقسيم المسافة بين نقاط المناسيب بالخريطة ووضعها بداية كنقاط أو خطوط قصيرة.

3 - يتم توصيل الخطوط ذات القيمة الواحدة (الشكل 11-3)

4 - يجب مراعاة عند التوصـيل للخطوط أن تكون انسـيابية (Smooth) ولاتتقاطع ولاتتفرع ولاتشكل زوايا.

5-2-11 البروفيل الطبوغرافي (Topographic Profile)

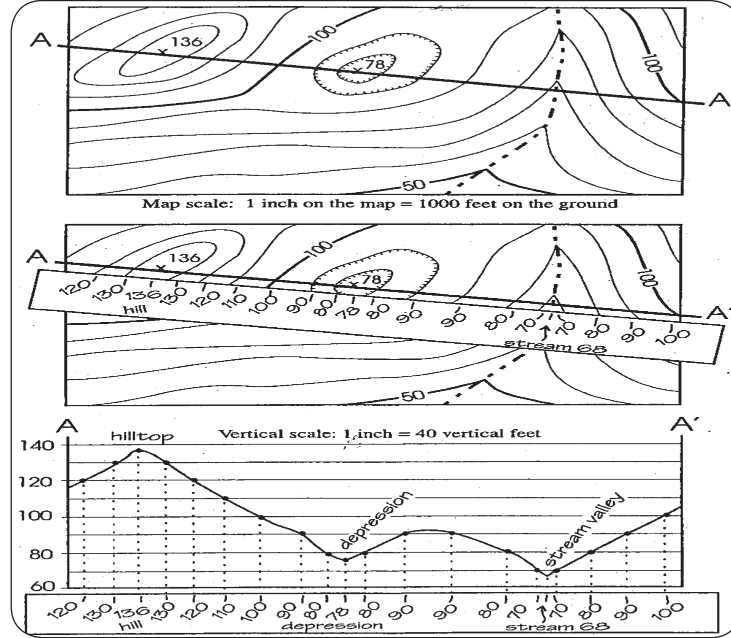
يعتبر البروفيل الطبوغرافي في ممثلا خط مسـار التضـاريس في اتجاه ما تم اختياره. وهذا المسار يوضح مدى انخفاض وارتفاع سطح الأرض، وبالتالي يمكن تمثيل شكل سطح الأرض وطبيعتـه في هذا الاتجاه بمـا عليه من ظواهر طبوغرافية مختلفة. ويرسـم هذا الخط على خرائـط المناسـيب الكنتورية ويتـم أخذ قيم خطوط المناسـيب التي تتقاطع مع خط مسـار التضـاريس الموقع على الخريطة (الشكل 11-4). قد يتم ذلك عمليا من خلال شريط ورقي يتم توقيع أماكن خطوط الكنتور عليه وقيم كل خط ثم يتم رسـم ذلك بيانيا على ورقة رسـم بياني ويمثل A - A خط البروفيل.

6-2-11 مقياس رسم الخريطة Scale

عادة يتم وضع مقياس الرسم أسفل الخريطة ويوضح بيانيا عن طريق رسم خط مستقيم يقسم إلى وحدات يكتب فوقها ما يقابلها على الأرض بالكيلومترات أو بالأمتار أو بالأميال أو بالأقدام وقد يتم كتابته في صورة نسبية بمعنى أن وحدة المسافة على الخريطة تقابلها نفس الوحدات على سـطح الأرض. فمثلا قد نجد 1 سم على الخريطة يقابلها 100000 سم على الواقع الطبيعي لسـطح الأرض ويكتب 1:100000. تستخدم معظم الخرائط مقياس الرسم



النسبي كالآتي 1:25000 أو 1:250000 وهكذا. ومن المتعارف عليه عند إنشاء الخرائط أن يكون الخط الرأسي الذي يشير إلى أعلى من خلال سهم ما على الخريطة دائما يشير إلى الشمال الحقيقي وبالتالي فإن الشرق سيقع على يمين الخريطة والغرب على يسارها.

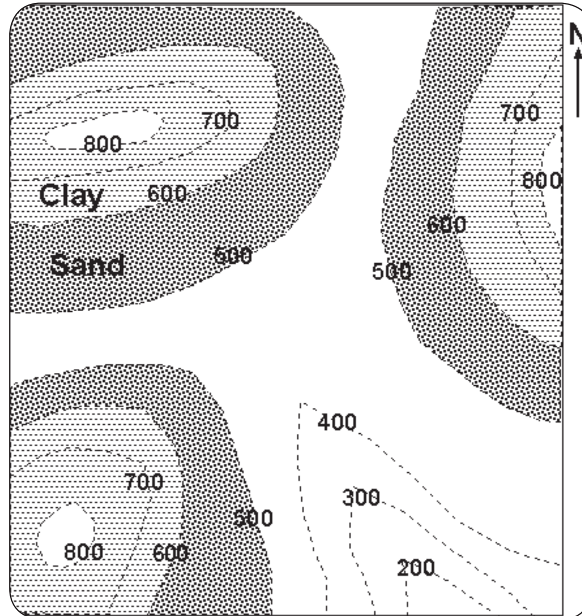


الشكل (11-4): يمثل خط بروفيل A/-A لمنطقة تتواجد فيها ارتفاعات وانخفاضات وتظهر خطوط الكنتور في حالة الأنهار والوديان على شكل حرف V

11-3 مكاشف الطبقات الأفقية Outcrops of Horizontal Layers

يعرف منكشف الصخر على أنه ذلك الجزء من الصخر الذي يظهر أو ينكشف على سطح الأرض من كتلة أو طبقة صخرية تكون مدفونة أصلا تحت صخور أخرى غالبا ما تكون أحدث منها في العمر. وهنا تجدر الإشارة إلى أن لكل منكشف صخري خصائص طبيعية معينة أهمها ما يعرف باتساع المكشف. ويقصد بالاتساع المسافة على سطح الأرض المحصورة بين خطي تلاصق هذا المنكشف مع منكشف الصخور الأخرى التي تقع أعلى هذا المنكشف وأسفله خاصة الصخور الرسوبية (التتابع الطبقي). يمكن تمثيل مكاشف الطبقات الأفقية على الخرائط الطبوغرافية برموز او الألوان حيث تصبح الخرائط الطبوغرافية

في هـذه الحالة خرائط جيولوجية. وتظهر مكاشـف هـذه الطبقات إما متطابقـة أو موازية لخطـوط الكنتور. بداية يتم تمثيل منكشـف سـطح ما من خلال معرفة قيمة ارتفاع سـطح الطبقة ثم يتم تمثيل منكشـف السـطح الآخر بزيادة سـمك الطبقة إذا كان المطلوب تمثيل منكشـف السـطح العلوي أو نقصـان سـمك الطبقة إذا كان المطلوب تمثيل مكشف السطح السـفلي. وهكذا يتم تمثيل مكشـف باقي الطبقات بمعلومية الدليل الجيولوجي (Legend) وسمك الطبقة.تظهر هذه الطبقات الأفقية في الوديان على شكل حرف V حيث تشير الرأس إلى اتجاه المنبع والانفراج ناحية المنبع.يمكن توضـيح ذلك من خلال الشـكل (5-11) حيث يظهـر الفارق الكنتوري بقيمة 100 متر ويظهر السـطح العلـوي للرمل sand عند 600 متر أما مكشـف السـطح السـفلي للطفل clay (وهو نفسـه السـطح العلوي للرمل) يظهر عند 600 متر وهذا يعني أن سـمك الطبقة (مكشف السـطح العلوي – مكشف السطح السفلي) يساوي 200 متر. ويظهر مكشف هذه الطبقة منطبقا على خطي كنتور 800 متر، 600 متر. في مثل هذا النوع من الخرائط عند عمل بروفيل طبوغرافي وتم تمثيل مكاشف الطبقات عليه يتم تسمية هذا القطاع بقطاع جيولوجي وليس طبوغرافي.

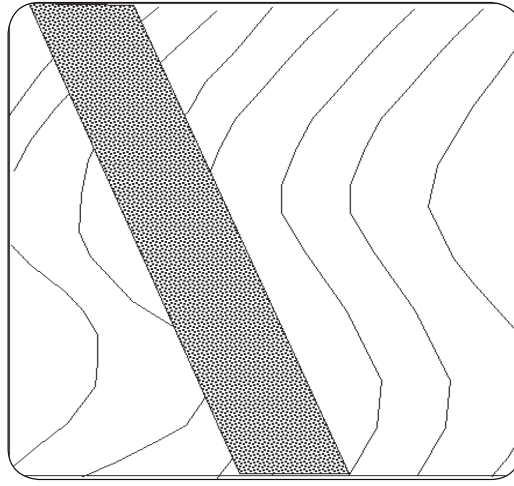


الشكل (5-11): يوضح مكشف الطبقات الأفقية لطبقتي الطين والرمل



4-11 مكاشف الطبقات الرأسية Outcrop of Vertical Layers

إن منكشف أي طبقة من طبقات الصخور الرسوبية يظهر عادة على الخرائط الطبوغرافية محصورا بين خطي تلاصقها مع طبقات الصخور الأخرى المجاورة لها واللذين يكونا دائما على هيئة خطين مستقيمين ومتوازيين لا يتغير اتجاه أي منهما مهما تغيرت تضاريس سطح الأرض المنكشفة عليه هذه الصخور (الشكل 11-6). وهنا يكون اتساع منكشف الطبقة على الخارطة مساويا للسمك الحقيقي لها، آخذا في الاعتبار مقياس رسم الخريطة.



الشكل (11-6): يوضح مكشف طبقة رأسية

5-11 مكاشف الطبقات المائلة Outcrop of Inclined Beds

هناك بعض المفاهيم يجب فهمها قبل الدخول في كيفية رسم مكاشف الطبقات المائلة كالتالي:

- **رموز الميل الجيولوجية) زاوية الميل ومقدار الميل واتجاه الميل)**

وهذه تشير إلى الاتجاه الذي تميل فيه مستويات طبقات الصخور المثل منكشفها على الخارطة وكذلك درجة ميل هذه المستويات عن المستوى الأفقي (الشكل 11-7). وهنا تجدر الإشارة إلى أن ميل أي طبقة صخرية يقدر بقيمة الزاوية المحصورة بين أي من سطحي الطبقة والمستوى الأفقي القاطع لأي منه.

مكاشف الطبقة المائلة هي النقاط التي يتقاطع فيها خطوط الكنتور مع خطوط المضرب لسطح الطبقة اللذان يحملان نفس الارتفاع. وبالتالي فان مكشف الطبقة عبارة عن نقطة مشتركة بين سطح الطبقة وسطح الأرض ، ذلك لأن خطوط المضرب تبين الارتفاعات على سطح الطبقة كما تبين خطوط الكنتور الارتفاعات على سطح الأرض، لذلك فإن أي نقطة يتساوى عندها قيمة خط الكنتور وخط المضرب تعتبر نقطة مكشف.

- رموز الاتجاه الامتدادية أو رموز المضرب (Strike Line)

وهذا يشير إلى الاتجاه الجغرافي الذي يمتد أو يضرب فيه مستوى سطح أي طبقة صخرية وذلك بالنسبة للجهات الأربع (الشكل 11-7) ولذلك فإن مثل هذه الخطوط تعرف بخطوط الامتداد أو خطوط المضرب. ولقد أتفق على أن يمثل كل من اتجاهي امتداد الطبقة في الطبيعة واتجاه ميلها ودرجته عن المستوى الأفقي برمز واحد يكون على هيئة خطين صغيرين متعامدين على بعضهما البعض مختلفين في الطول حيث يشير الخط الأطول إلى الاتجاه الجغرافي بينما يشير الخط الأصغر طولا إلى الاتجاه الذي تكون فيه درجة الميل أقصى قيمة وتكون هذه القيمة مكتوبة عند نهاية هذا الخط الأصغر.

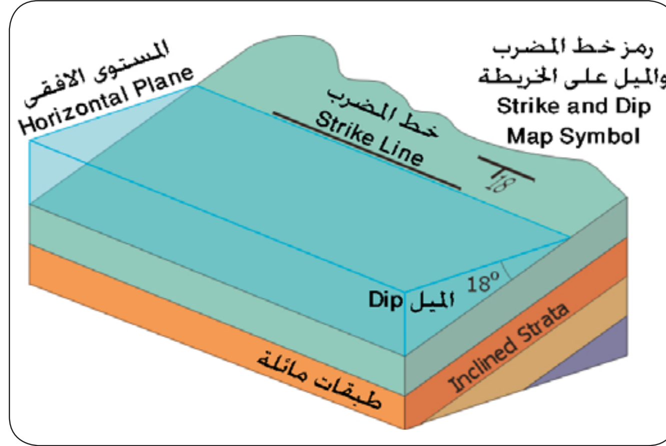
- الفرق بين السمك الحقيقي والسمك الرأسي

السمك الحقيقي (True thickness) يقدر بقياس المسافة العمودية على سطحي الطبقة العلوي والسفلي أما السمك الرأسي (Vertical thickness) للطبقة ذاتها فهو يقاس بالمسافة الرأسية المحصورة بين سطحي الطبقة العلوي والسفلي كما هو واضح بالشكل (11-8). أي أنه في حالة الطبقة الأفقية يكون السمك الرأسي مساويا للسمك الحقيقي. من خلال حساب المثلثات يتضح أن السمك الحقيقي= السمك الرأسي x جتا (زاوية الميل).

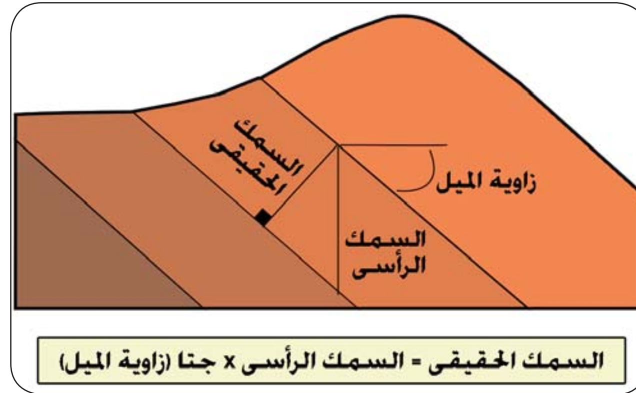
- القطاع الجيولوجي Geological Cross Section

لكي تظهر الطبقات بدرجات ميلها الحقيقي وهي المدونة على الخارطة يجب على الجيولوجي اختيار اتجاه هذا القطاع عبر مسطح الخارطة بحيث يكون عموديا على الاتجاه الذي تميل فيه الطبقات في الطبيعة.





الشكل (11-7) : يوضح مفهوم خط المضرب والميل



الشكل (11-8) : يوضح العلاقة بين السمك الحقيقي والسمك الرأسي وزاوية الميل

- خط المضرب Strike

خط المضرب هو ذلك الخط الوهمي الناتج من تقاطع أي مستوى على ارتفاع معين مع سطح الطبقة المائل وعلى ذلك تكون خطوط الامتداد الناتجة عن تقاطع أي سطح طبقة مائلة مع مستويات عديدة ومختلفة الارتفاعات دائما أفقية ومتوازية وذات قيم ارتفاعات مختلفة تتناسب وارتفاعات المستويات الأفقية المختلفة القاطعة لسطح الطبقة. وجدير بالذكر أن تحديد اتجاه خطوط الامتداد لسطح طبقة مائلة على الخارطة الطبوغرافية وكذلك تعيين قيم ارتفاعات كل منها بالنسبة للآخر هما في غاية الأهمية حيث بدونهما لايمكن تمثيل مكشف سطح الطبقة المائلة على الخرائط الطبوغرافية وخاصة إذا علمنا

أن كل خط كنتور وامتداد لها نفس الارتفاع يتقاطعا على مسطح الخارطة عند عدد من النقاط التي لابد وأن ينكشف أو يظهر عندها سطح الطبقة المراد تمثيله على الخارطة. فإذا أمكن تحديد هذه النقط على الخارطة في هذه الحالة يمكن أن يتم التوصيل بينهما بخط واحد لتحديد منكشف أي من سطحي الطبقة وليكن العلوي منها، فإذا ما أردنا بعد ذلك تمثيل منكشف الطبقة كاملا بسطحيها العلوي والسفلي فلابد من معرفة السمك الرأسي لهذه الطبقة وفي هذه الحالة يمكن استخدام خطوط الامتداد المرسومة للسطح العلوي بعد تغيير قيم ارتفاعاتها وذلك بطرح قيمة السمك الرأسي للطبقة وبذلك يمكن تحديد خطوط الامتداد للسطح السفلي للطبقة. يجب ملاحظة أن الفارق المضربي لابد وأن يساوي الفارق الكنتوري مع مراعاة مقياس الرسم.

1-5-11 طرق تحديد مكاشف الطبقات المائلة

لتحديد النقط التي ينكشف عندها سطح طبقة مائلة على الخرائط الطبوغرافية لابد لنا أولا من رسم خطوط الامتداد لهذا السطح عبر مسطح هذه الخرائط الأمر الذي يتم عادة من خلال التالي:

1 - إما زاوية ميل سطح الطبقة والاتجاه الذي يميل فيه عند نقطة.
2 - إما ثلاث نقط على الخارطة ينكشف عندها سطح الطبقة، اثنان منها على ارتفاع واحد بينما تقع النقطة الثالثة على ارتفاع أقل أو أكبر من ارتفاع النقطتين الآخرتين.
3 - إما ثلاث نقط انكشاف لسطح الطبقة بحيث تقع جميعها على ارتفاعات مختلفة.
4 - إما بمعرفة قيمتي لزاويتي ميل ظاهرين لسطح الطبقة في اتجاهين مختلفين.

ولرسم خطوط المضرب من خلال زاوية ميل سطح الطبقة والاتجاه، يرسم خط المضرب من النقطة التي ينكشف عندها سطح الطبقة بحيث يكون اتجاهه عموديا على اتجاه الميل وفي هذه الحالة يكون له نفس ارتفاع النقطة. ترسم بقية خطوط الامتداد على الخارطة موازية لاتجاه خط الامتداد الأول هذا وبحيث يحصر كل خطي امتداد متتاليين منها المسافة المضربية التي يمكن حسابها من العلاقة:



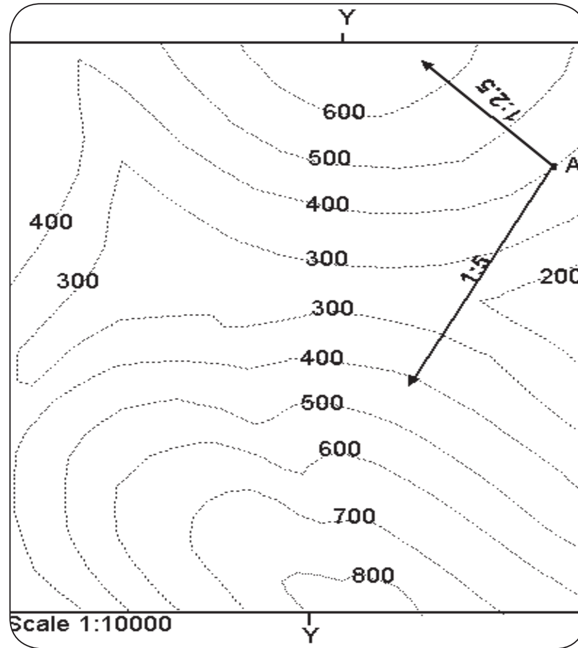
ظل زاوية الميل = (الفارق الكنتورية / المسافة المضربية) (مقياس الرسم)

$$Tan\ \theta = \frac{\text{Contour interval}}{\text{Strike distance}}(\text{scale}) \qquad (11-1)$$

يتم تحديد النقط التي تتقاطع عندها خطوط الامتداد لهذا السطح مع خطوط الكنتور التي تساويها في الارتفاع وبذلك نكون قد حددنا أماكن النقط التي لابد وأن يظهر عندها مكشف سطح الطبقة المائل المراد تمثيله على الخارطة. نصل بين هذه النقط جميعا بخط واحد متصل لنحصل على منكشف سطح الطبقة المطلوب.

في حالة ثلاث نقاط، اثنان منها على ارتفاع واحد بينما تقع النقطة الثالثة على ارتفاع أقل أو أكبر من ارتفاع النقطتين الآخرتين ، يتم التوصيل بين النقطتين ذات الارتفاع الواحد لتحديد خط الامتداد الأول. نرسم خط الامتداد الثاني مارا بالنقطة الثالثة آخذين في الاعتبار أن يكون خط الامتداد الثاني هذا موازيا لاتجاه خط الامتداد الأول ثم يعطى له نفس ارتفاع النقطة. نقسم المسافة بين الخطين المرسومين آخذين في الاعتبار الفارق الكنتوري هو نفسه الفارق المضربي كقيمة. بنفس الطريقة السابقة يتم رسم مكشف الطبقة من خلال نقاط تقاطع الكنتور مع المضرب.

بمعلومية ميلين ظاهريين متقاطعين عند نقطة ما وليكن النقطة A ، فإذا كان هذا الميل على سبيل المثال 1:2.5 على أحد الخطوط، 1:5 على الخط الآخر كما في الشكل (11-9) ،في هذه الحالة يتم قياس الوحدات الطولية لكل ميل ظاهري، بمعنى يتم قياس وحدتين ونصف على أحد الخطوط ثم خمسة على الخط الثاني ويتم التوصيل بين النقطتين الجديدتين لنحصل على أول خط مضرب. يتم رسم خط مضربي آخر مارا بالنقطة A مع الأخذ في الاعتبار أن قيمة هذا الخط هو قيمة النقطة A. لاحظ أن قيم خطوط المضرب تقل في اتجاه الميل وبالتالي الخط المار بالنقطتين الجديدتين سيكون أقل وحدة كنتورية من الخط المار بالنقطة A وبذلك يكون قد تم تحديد الفارق المضربي أو المسافة المضربية ثم يتم رسم باقي الخطوط.



الشكل (11-9): يوضح معلومية ميلين ظاهريين متقاطعين عند نقطة ما وليكن النقطة A

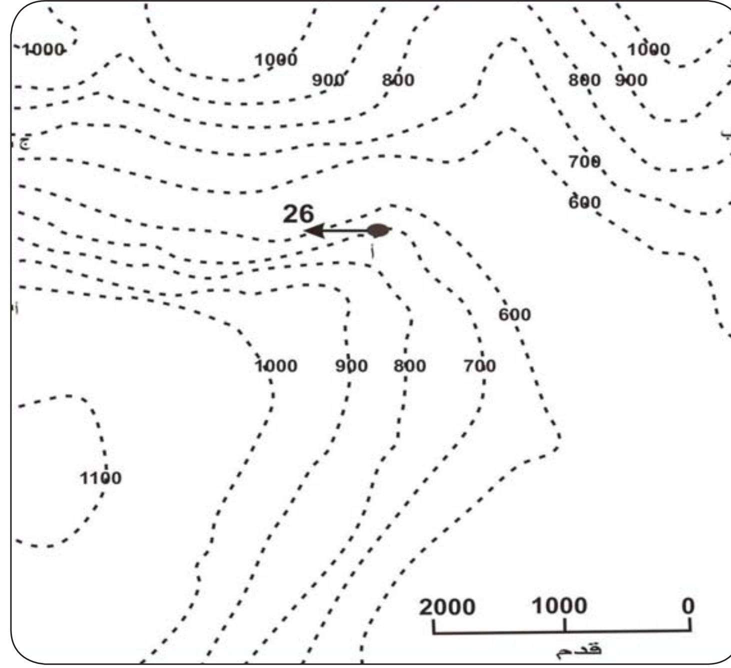
لتحديد العمق الرأسي لأي سطح طبقة مائلة، يمكن توضيح ذلك إذا افترضنا مثلا أن عند أي نقطة وليكن (أ) تقع على الخارطة مارا بها خط كنتور 500 متر وخط الامتداد أو المضرب المساعد 360 متر لسطح الطبقة المراد الوصول إليه، فإن العمق الرأسي في هذه الحالة للسطح المائل عند هذه النقطة أ يساوي 140 متر.

سيتم اعطاء مثال تطبيقي لأحد مكاشف الطبقات المائلة كالتالي: يوضح الشكل (11-10) مكشف السطح السفلى لطبقة من الفحم عند النقطة (أ)، فإذا كان ميل الطبقة الحقيقي (26 درجة) في اتجاه الجنوب والمطلوب:

1 -رسم مكشف السطح السفلى لطبقة الفحم.

2 -رسم مكشف السطح العلوي لطبقة الفحم إذا كان سمك الطبقة 200 قدم.





الشكل (11-10): مثال تطبيقي لمكشف طبقة مائلة من الفحم

وللإجابة على المثال السابق، يتم ذلك في نقاط كالتالي والموضحة في الشكل (11-11):

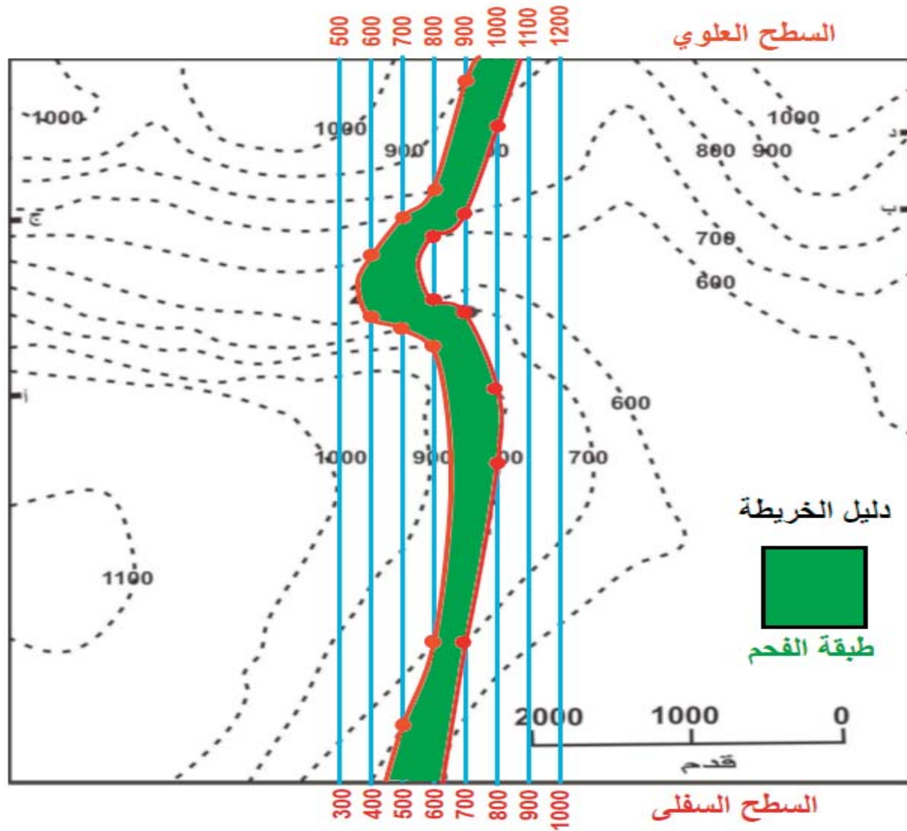
1 - من خصائص خطوط المضرب انها تكون عمودية على اتجاه الميل الحقيقي، وبالتالي نرسم أول خط مضرب يمر بالنقطة (أ) وعمودي على اتجاه الميل الحقيقي وستكون قيمته (700 قدم) ويكون على السطح السفلي لطبقة الفحم.

2 - نحسب المسافة المضربية من قانون ظل زاوية الميل مع الاخذ في الاعتبار مقياس رسم الخريطة. المسافة المضربية في هذه الحالة تساوي (0.5 سم). ثم نقوم برسم باقي خطوط المضرب والتي تتناقص قيمتها في اتجاه الميل.

3 - نحدد نقاط المكشف على السطح السفلي لطبقة الفحم وهي نقاط تقاطع خطوط المضرب وخطوط الكنتور التي لها نفس القيمة، ثم نصل هذه النقاط ببعضها البعض لنكون قد رسمنا مكشف السطح السفلي لطبقة الفحم.

4 - مع إضافة سمك طبقة الفحم (200 قدم) لقيم خطوط المضرب التي تمثل السطح السفلي لطبقة الفحم نحصل على قيم جديدة لخطوط المضرب تمثل السطح العلوي لطبقة الفحم.

5 - نحدد نقاط المكشف الجديدة على السطح العلوي لطبقة الفحم، ثم نرسم مكشف السطح العلوي للطبقة.

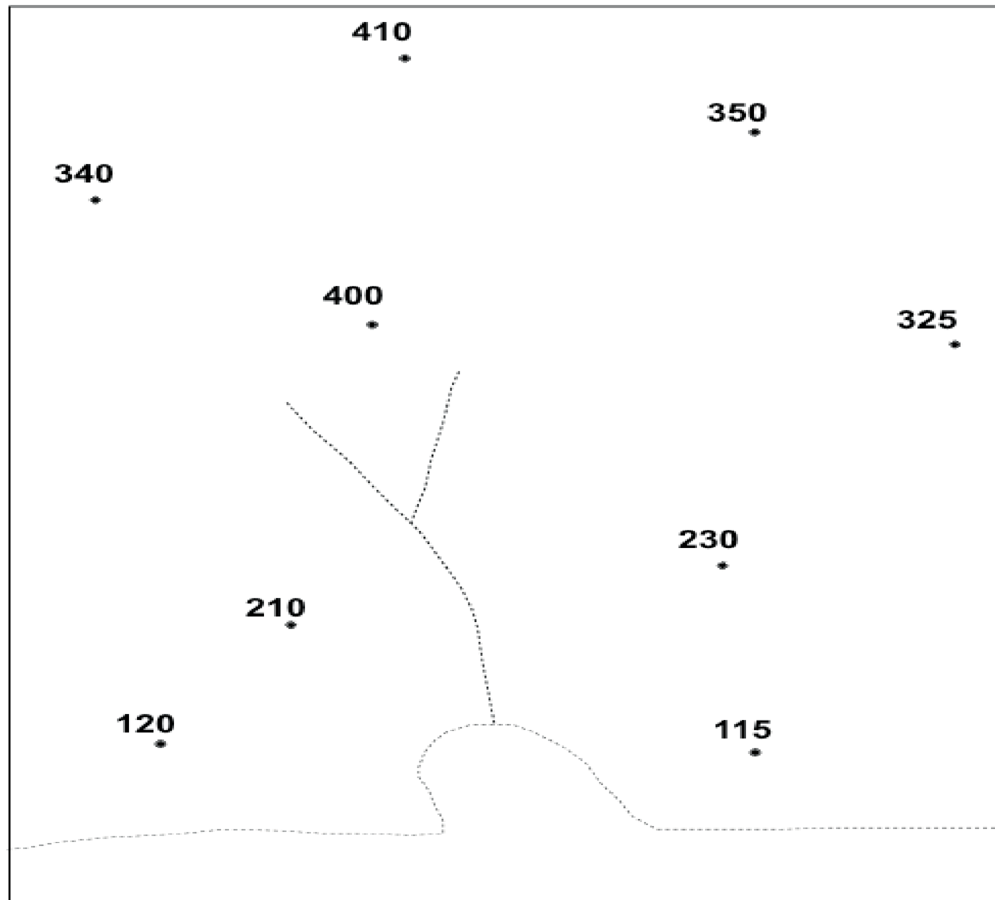


الشكل (11-11): يوضح مكشف طبقة الفحم المائلة المطلوب رسمها في الشكل (11-10)



6-10 تمارين عملية Practical Exercises

- الخريطة المعطاة (الشكل 11-12) تمثل منطقة ما بمحاذاة البحر ويخترقها نهر يصب في الخليج والمطلوب: رسم خريطة كنتورية بفارق كنتوري 40 متر ووضح التضاريس التي تحتويها المنطقة.

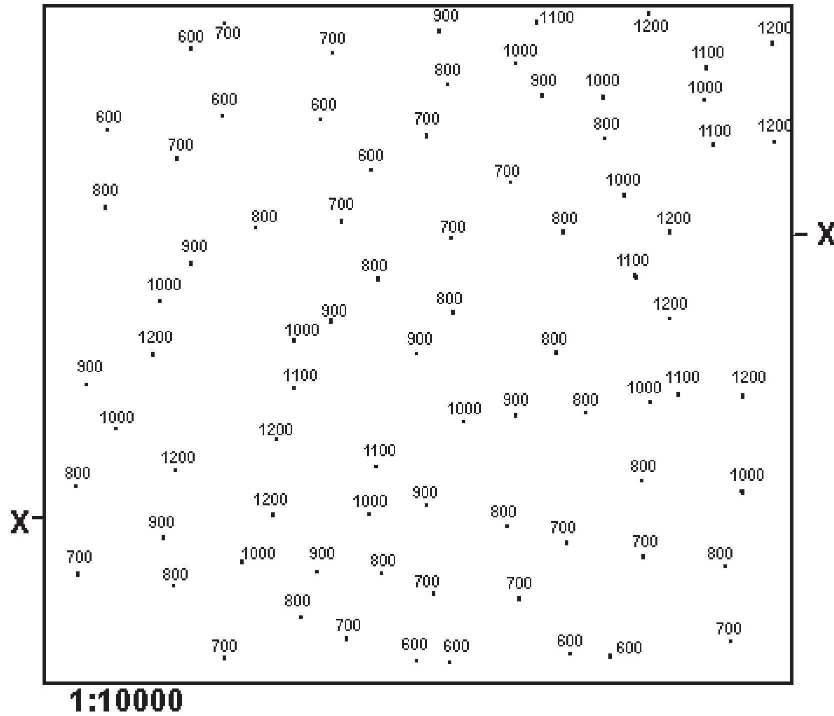


الشكل (11-12)



- على الشكل (13-11) تمثل النقط المعطاة قيم الارتفاعات عن سطح البحر للمنطقة المعطاة والمطلوب:

1) رسم خطوط المناسيب الموحدة أو الكنتور
2) تحديد أنظمة الصرف على الخريطة (اتجاه النهر)
3) رسم القطاع الطبوغرافي في X-Y
4) كتابة تقرير مبسط عن طبوغرافية المنطقة



الشكل (13-11)



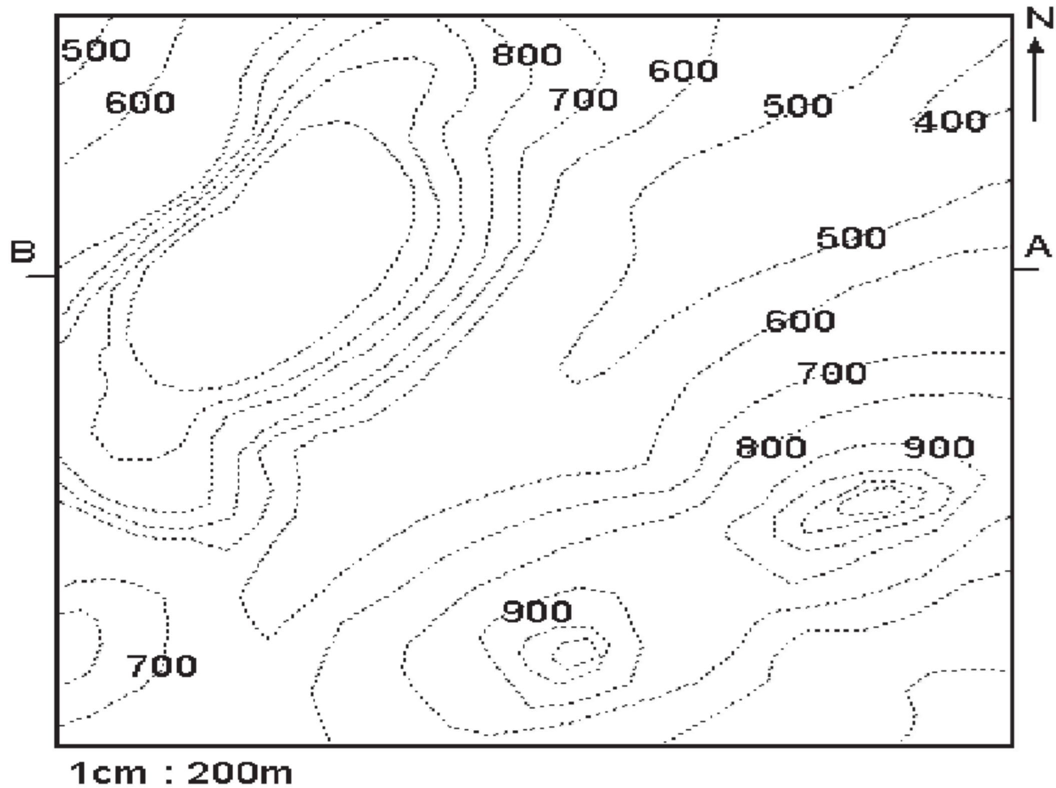
- الخريطة المعطاة (الشكل 11-14) تمثل خريطة كنتورية لمنطقة ما والمطلوب:

1) أذكر المعالم الطبوغرافية في الخريطة الكنتورية المعطاة.

2) احسب مساحة المنطقة بمقياس الرسم المبين أسفل الخريطة.

3) ارسم خط بروفيل على طول الخط B-A.

4) وضح مسالك المياه الجارية بالمنطقة باللون الأزرق.



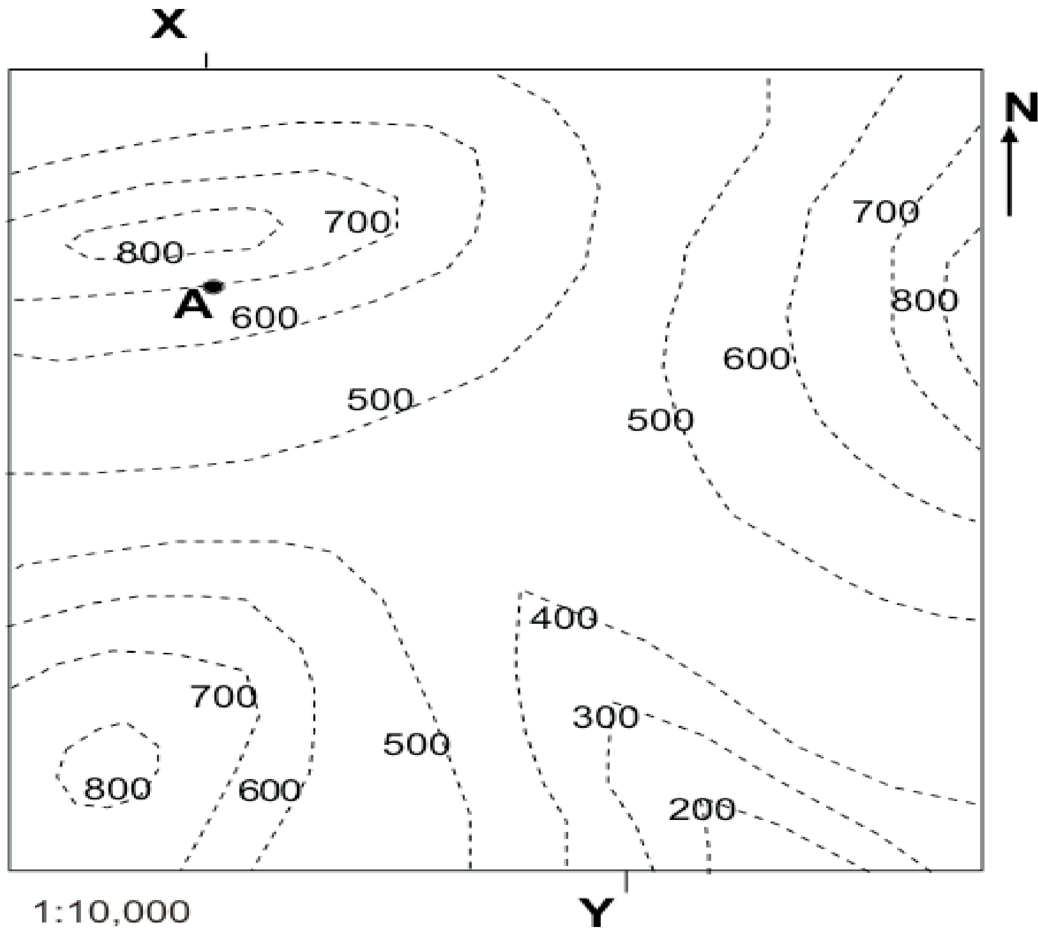
الشكل (11-14)



- الخريطـة المعطـاة (الشـكل 11-15) تمثـل خريطة كنتوريـة طبوغرافية حيث يظهـر السـطح السـفلي لطبقـة من الحجر الجـيري عند النقطـة A وسـمكها 100 متر. وأسـفل طبقـة الحجـر الجيري طبقة من الطفل سـمكها 200 متر ثـم طبقة من الحجر الرملي سمكها 100 متر وكانت الطبقات أفقية والمطلوب:

١-رسم مكاشف الطبقات الثلاثة على الخريطة.

٢- رسم قطاع جيولوجي X-Y موضحا عليه الطبقات.



الشكل (11-15)

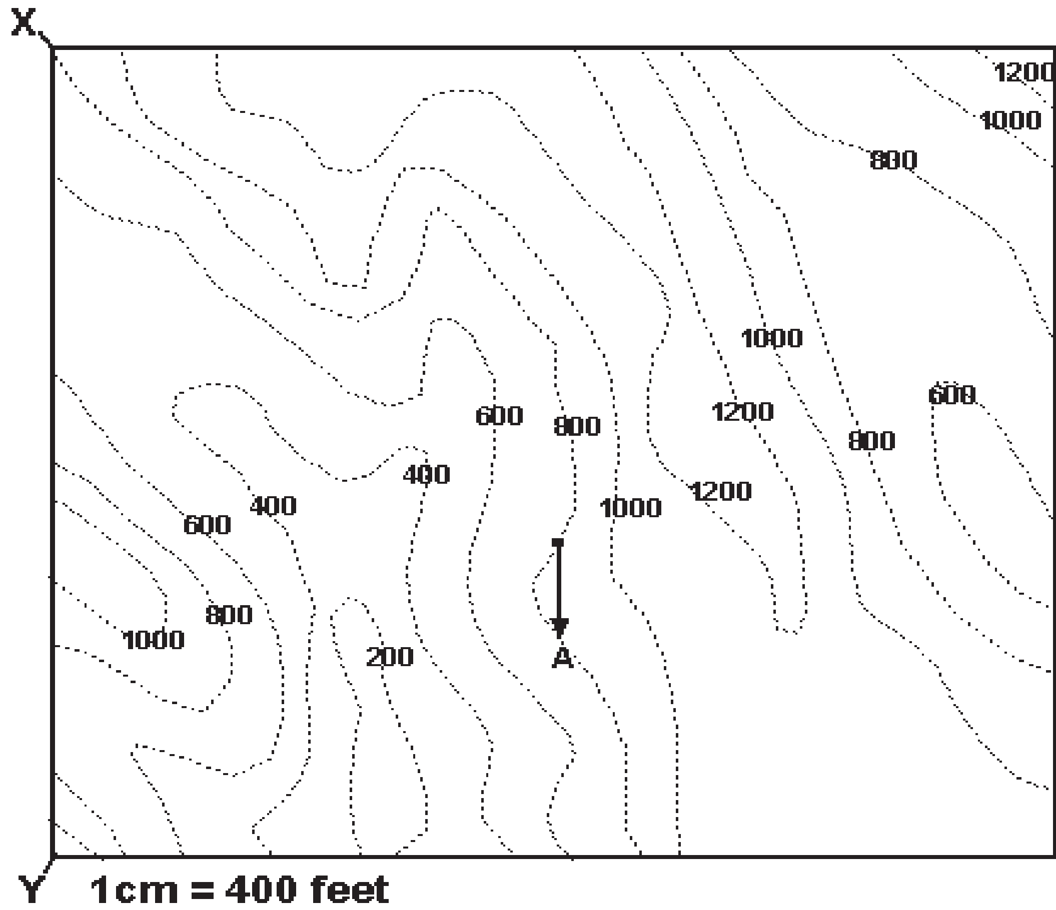


- عند النقطة A في الشكل (11-16) يظهر السطح السفلي لطبقة من الحجر الرملي سمكها الرأسي 200 قدم وميلها الحقيقي 7 درجات في اتجاه الجنوب. وهذه الطبقة تعلو طبقة سميكة من الحجر الجيري وتعلوها طبقة من الطفل والمطلوب ما يلي:

1) رسم مكاشف جميع الطبقات.

2) رسم قطاع جيولوجي على طول الخط (X-Y) .

3) كتابة تقرير جيولوجي عن المنطقة



الشكل (11-16)



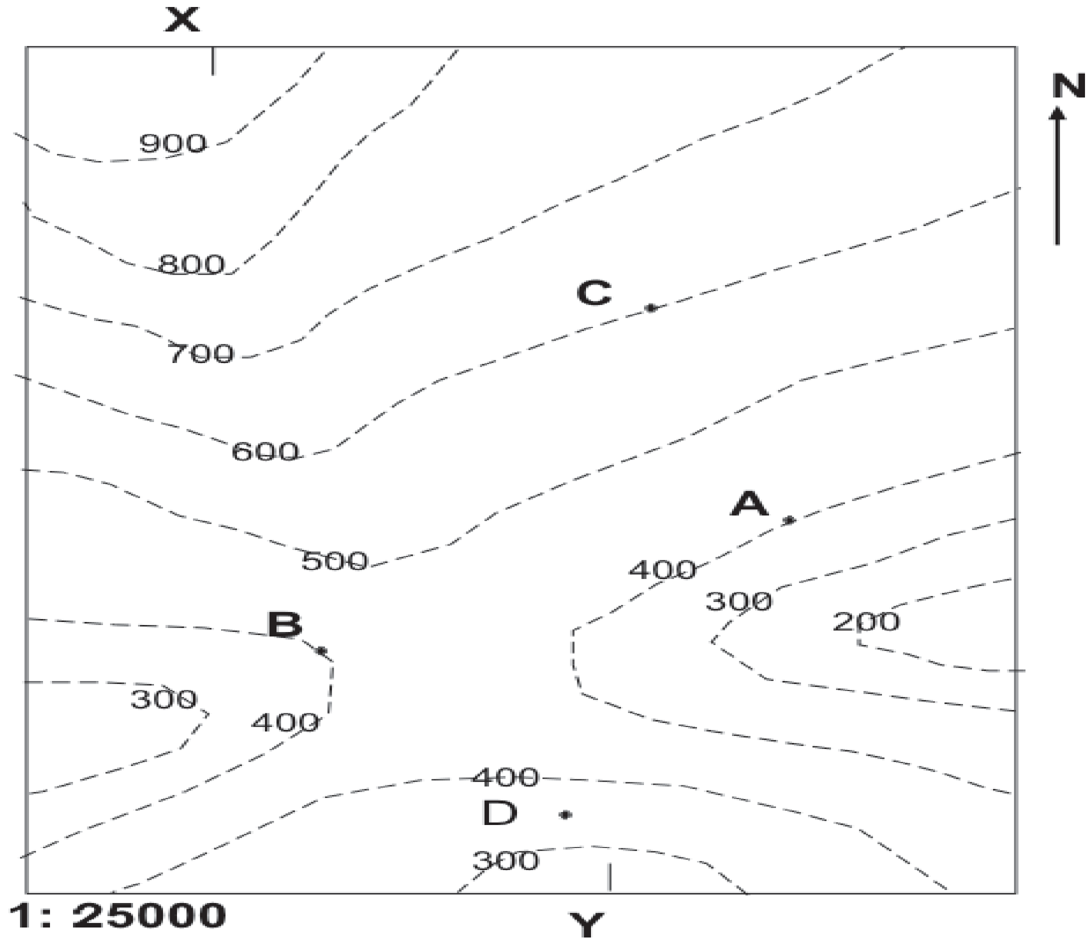
- في الشكل (17-11) C،B،A ثلاث نقط على مكشف السطح السفلي لطبقة من الحجر الرملي سمكها الرأسي 100 متروهي تعلو طبقة من الحجر الجيري ويعلوها طبقة من الطفل والمطلوب:

1) رسم مكاشف الطبقات

2) حساب قيمة واتجاه ميل الطبقات

3) إيجاد العمق اللازم حفره عند النقطة D للوصول إلى السطح العلوي لطبقة الحجر الرملي.

4) رسم قطاع جيولوجي على طول الخط X-Y.



الشكل (17-11)



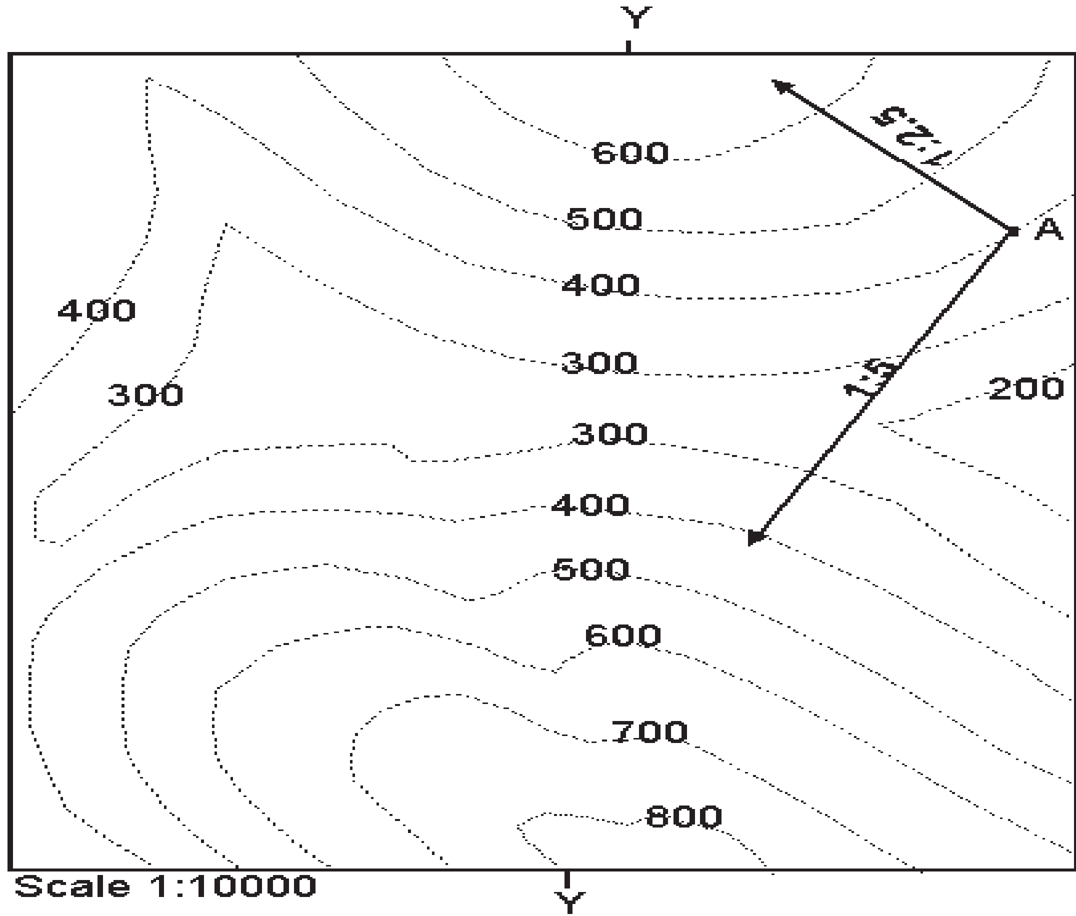
- في الشكل (18-11) وعند النقطة A يظهر جزء من السطح السفلي لطبقة من الطفل لها ميلان ظاهريان وسمكها الرأسي 200 متر وهي تعلو طبقة من الحجر الرملي وتعلوها طبقة من الحجر الجيري سمكها الرأسي 100 متر. والمطلوب:

1) رسم مكاشف جميع الطبقات.

2) حساب مقدار واتجاه الميل الحقيقي لطبقة الحجر الجيري.

3) حساب السمك الحقيقي لطبقة الطفل.

4) رسم قطاع جيولوجي على طول الخط Y-Y.



الشكل (18-11)



- في الشكل (19-11) A، B نقطتان على مكشف السطح السفلي لطبقة من الطفل، وعند النقطة C يظهر السطح العلوي لنفس الطبقة على عمق 50م والسمك الرأسي لهذه الطبقة هو 150م وهي تعلو طبقة من الحجر الرملي وتعلوها طبقة من الحجر الجيري، ويعلو جميع هذه الطبقات على ارتفاع 600م طبقة رملية أفقية سميكة. والمطلوب:

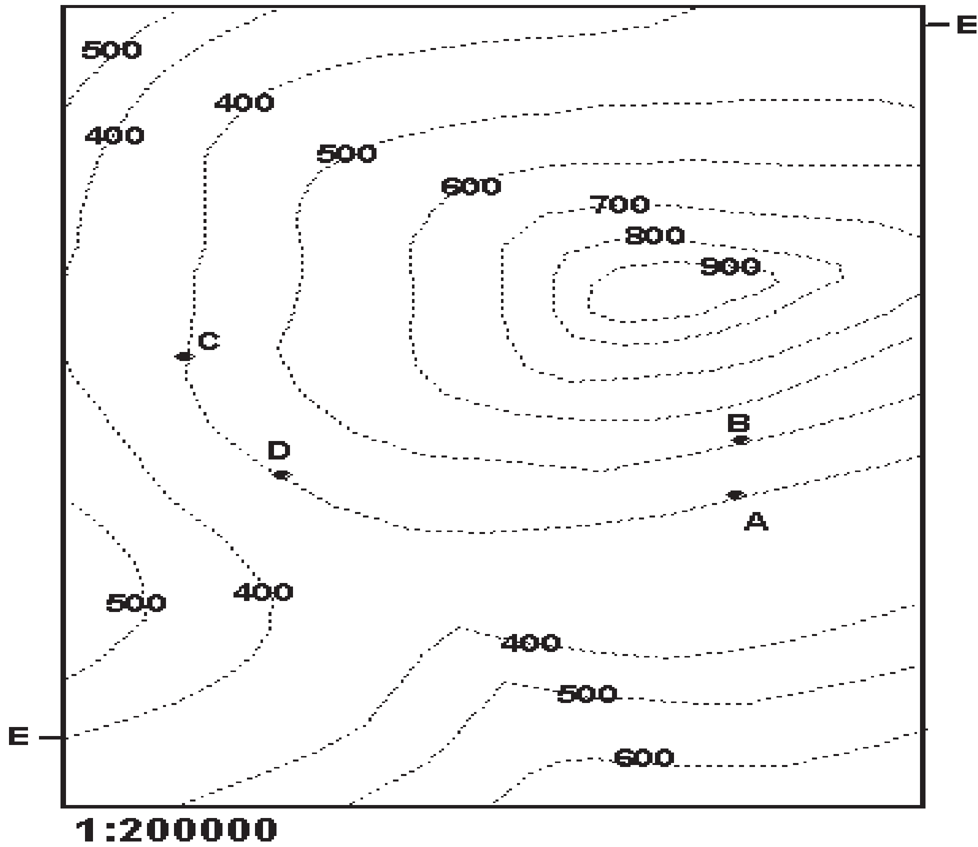
1) رسم مكاشف جميع هذه الطبقات.

2) حساب قيمة واتجاه الميل الحقيقي.

3) تقدير العمق اللازم حفره عند نقطة D للوصول إلى السطح العلوي لطبقة الطفل.

4) حساب قيمة السمك الحقيقي لطبقة الطفل.

5) رسم قطاع جيولوجي على طول الخط E-E.



الشكل (19-11)





الفصل الثاني عشر

تمثيل الطيات والصدوع على الخرائط الطبوغرافية

Representation of Folds & Faults on Topographic Maps

1-12 مقدمة

الطي هو انثناء الصخور نتيجة الضغط الواقع عليها. والطيات عبارة عن تموجات تحدث في صخور القشرة الأرضية إذا تعرضت طبقات الصخور أساسا لضغط جانبي قد تتكون الطيات وهي الطريقة التي تتكون بها الطيات العنيفة المصاحبة لحركات بناء الجبال والشكل (12-1) يوضح كيفية تكون الطيات بالضغط على الصخور الرسوبية. وتوجد هذه الطيات في كل أنواع صخور القشرة الأرضية ولكنها أكثر شيوعا ووضوحا في الصخور الرسوبية حيث أنها أكثر من غيرها في قابليتها للطي والانثناء تحت الضغوط العالية وذلك لخواصها اللدنة.

وتتميــز المناطــق الجبلية بالانثناءات العنيفة في صــورة طيات مقعــرة ومحدبة والتي قد تمتــد إلى آلاف الكيلومــترات. وبعضــ الجبــال تتميز بكــثرة الطيات المحدبــة وأخرى تكثر فيهــا الطيات المقعرة ولكن العادة أنه عندما تتعرض الصــخور للقوى الهائلة فإنها تنثني في طيــات مقعرة ومحدبة على التوالي، أي تتكون طية مقعرة مثلا وبجانبها طية محدبة وهكذا (الشــكل 12-2). وقد يتبادر للذهن بأن المنطقة المرتفعة من ســطح الأرض عبارة عن طيات محدبــة وأن المناطق المنخفضــة عبــارة عن طيات مقعــرة ولكن في أغلب الأحيــان ارتفاع أو انخفاض أجزاء من ســطح الأرض (طبوغرافية سطح الأرض) ليس له علاقة بالطيات وأن المناطق المرتفعة عبارة عن بقايا صــخور أكثر صــلابة ومقاومة للنحــت والتآكل وأن المناطق المنخفضــة كالوديان تتكون أساســا من صــخور أكثر طراوة وقابلية للنحــت والتآكل بعوامل الهــدم في الطبيعــة. غير أن بعض الجبال عبارة عن طيات محدبــة كبيرة وأخرى ترقد فوق طيــات مقعــرة. ويمكن أن تتكون الوديــان فوق طيات مقعرة أو محدبة على الســواء. وهذا لا يعني أن تكون الوديان مرتبطة بالضرورة مع البنيات الجيولوجية التي تحتها فبعض الوديان تحفر مجاريها فوق الصخور المطوية في اتجاهات مختلفة، ولكن في العادة نجد الوديان تتبع في مجراها بنيات أقدم منها مثل خطوط الصــدوع والمناطق الضــعيفة حيث تكون الصخور في تلك المناطق ســهلة النحت والتآكل بالمياه الرئيســية التي تتبع في اتجاهها اتجاه الصــدوع العميقة بالمنطقة مما يدل أن هذه الوديان محفورة في صدوع كبيرة.

على الجانب الآخر فإن كســور الصــدوع تعتبر من أكثر أنواع التراكيب التكتونية الأصــل انتشــارا في صخور القشرة الأرضــية. وهي تتمثل في الشقوق والشروخ التي يصاحب حدوثها حركة واضــحة للكتل الصــخرية المتهشــمة واحدة بعكس الأخرى على جانبي مستواها سواء كانت هذه الحركة النسبية انتقالية أو دورانية أو حركة مركبة من الاثنين معا.



الشكل (12- 1) يوضح كيفية تكون الطيات بالضغط



أنواع الطيات

تتابع غير مطوى

طية متماثلة

زاويتا ميل الجناحين متساويتان والمحور رأسي

طية غير متماثلة

زاويتا ميل الجناحان غير متساويتين والمحور مائل

طية مقلوبة

كالسابقة إلا أن المحور أصبح مائلًا لدرجة أدت إلى انقلاب أحد الجناحين

طية مضجعة

كالسابقة إلا أن المحور أصبح أفقيًا

الطية المقعرة: يميل فيها الجناحان نحو محور – أحدث الطبقات في المركز

الشكل (12-2): يبين بعض أنواع الطيات المختلفة

12-2 أجزاء الطية Components of Fold

- جناحا الطية Limbs

تتكون كل طية من جناحين هما جانبي الانثناء. وجناح الطية عبارة عن الجزء الممتد من المستوى المحوري للانثناء إلى المستوى المحوري للانثناء المجاور (الشكل 12-3). إذا تساوى



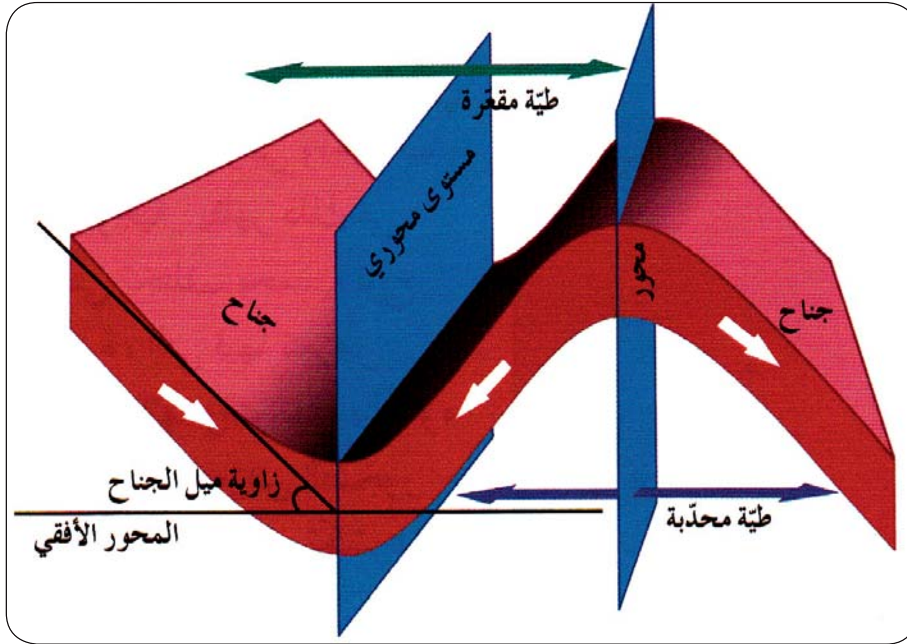
جناحا الطية سـميت طية متماثلة أما إذا اختلفـت إحداهما عن الأخرى عرفت الطية بأنها غير متماثلة وهي عموما الشائعة في الطبيعة.

- **المستوى المحوري** Axial plane

هو المستوى الذي يقسم الطية إلى جزأين أي يقسم الزاوية بين جناحي الطية إلى جزأين فإذا تساوت الزاوية على جانبي المستوى المحوري الرأسي كانت الطية متماثلة أما إذا اختلفت الزاوية على جانبي المستوى المحوري رأسيا أو مائلا أو أفقيا كانت الطية غير متماثلة.

- **محور الطية** Fold axis

يسـمى الخط الناتج عن تقاطع المسـتوى المحوري مع سـطح طبقة ما بمحور الطية. وقد يكون المحور أفقيا أو مائلا أو أنه قد يكون رأسـيا. والواقع أن لكل طية عدد كبير من المحاور (تقاطع أي سـطح لأي طبقة مع المستوى المحوري) ولكن هذه المحاور تكون في أغلب الأحيان متوازية، لذلك فإن محور واحد منها يكفي لتمثيلها جميعا.



الشكل (12-3): يبين أجزاء الطية



3-12 تصنيف الطيات Classification of Folds

يتم تصنيف الطيات على أسس مختلفة، سيتم التركيز هنا فقط على الأنواع الأساسية من الطيات، وأسس تصنيفها كالتالي:

- بالنسبة لأوضاع المستوى المحوري

وهذه تميز بين الطية المتماثلة والطية الغير متماثلة فالطيات المتماثلة (symmetrical folds) هي التي تتخذ مستوياتها المحورية أوضاعا رأسية في الفراغ بالطبيعة بينما تعرف الطية بأنها غير متماثلة إذا ما اتخذ مستواها المحوري في الطبيعة وضعا مائلا على المستوى الرأسي

- بالنسبة لأوضاع جناحي الطية

وهذه تميز بين الطيات المقعرة و المحدبة وبين الطيات المقلوبة والطيات منتظمة الميل (الرأسية و النائمة)، وهنا يجب أن نذكر بأن تسمية الطية أو تصنيفها يتوقف أساسا على الكيفية التي تميل بها صخور كل من جناحيها بالنسبة لمستواها المحوري وكذلك على درجتي ميل كل من هذين الجناحين بالنسبة لبعضهما البعض ويتضح ذلك من الأمثلة التالية:

إذا كان جناحي الطية يميلان في اتجاه واحد وبدرجتي ميل متساويتين، في هذه الحالة يتكون لدينا ما يعرف بالطية وحيدة الميل وهذا النوع من الطيات يشتمل أساسا على نوعين، الطيات الراسية وهى التي تتخذ فيها أجنحتها أوضاعا رأسية موازية لمستوياتها المحورية. أما الطيات النائمة أو المضطجعة وهي التي تتخذ فيها أجنحتها أوضاعا أفقية موازية لمستوياتها المحورية (الشكل 12-2). الطيات المائلة هي التي تميل فيها أجنحتها بزاوية حادة على المستوى الأفقي كما هو مبين بالشكل (12-2). إذا كان جناحي الطية يميلان في اتجاه واحد ولكن بدرجتي ميل مختلفتين هنا يظهر ما يعرف باسم الطية المقلوبة كما هو مبين بالشكل (12-3).



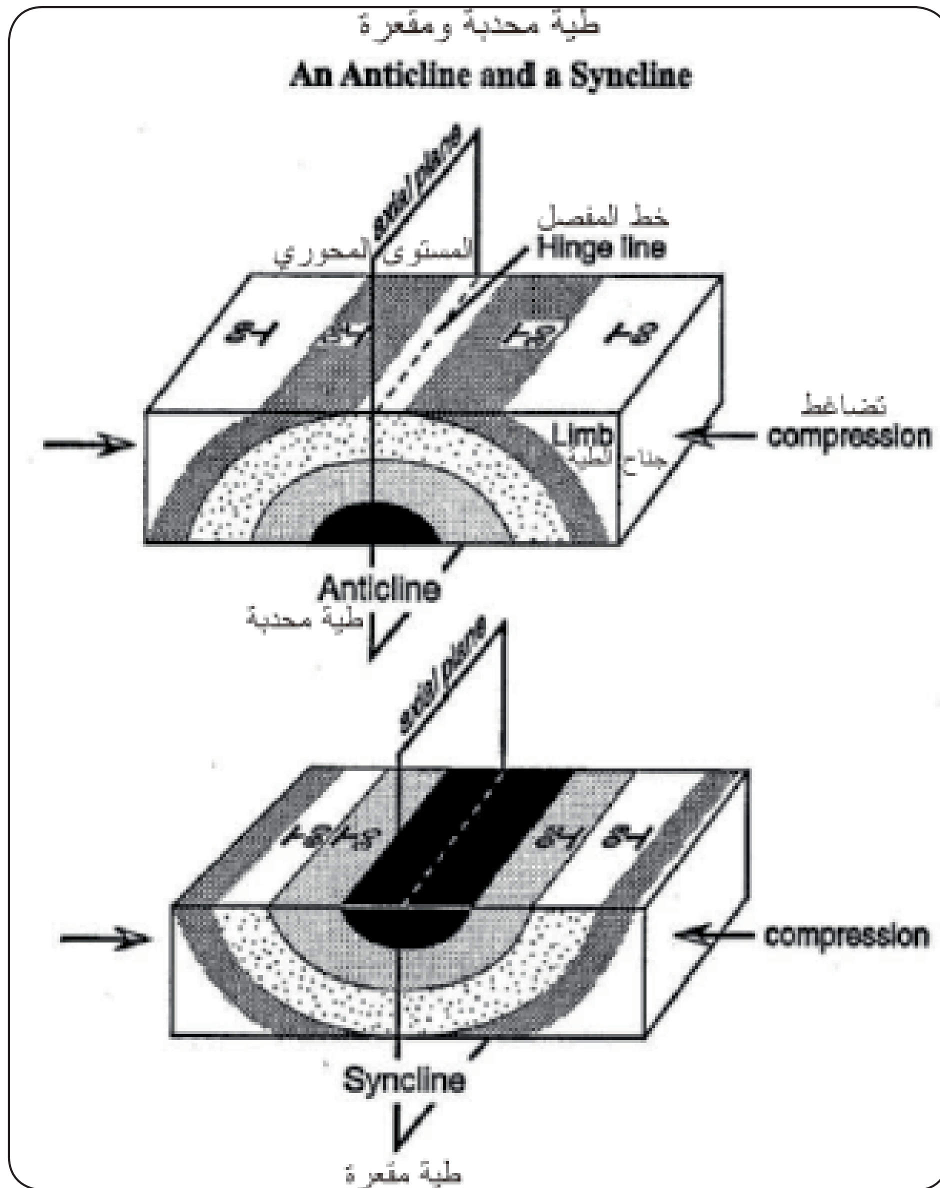
إذا كان جناحي الطية يميلان في اتجاهين مختلفين فإنه يتكون ما نسميه إما بالطية المقعرة أو بالطية المحدبة. يمكن اعتبار هذان النوعان من أكثر أنواع الطيات انتشارا في صخور القشرة الأرضية. والطية المقعرة هي التي تميل فيها صخور كل من جناحيها في الناحية التي يتواجد فيها مستوى الطية المحوري (الشكل 12-4). أما الطية المحدبة فهي التي يميل فيها صخور كل من جناحيها بالصورة التي تبتعد فيها عن مستواها المحوري (الشكل 12-4).

- تصنيف الطية بالنسبة لأوضاع محور الطية

يميز محور الطية بين الطيات الغاطسة والغير غاطسة. وتعتبر الطية غير غاطسة إذا ما ظهر محورها في الطبيعة متخذا وضعا أفقيا كما هو مبين بالشكل (12-4). أما الطيات الغاطسة فهي التي تظهر محورها دائما متخذة أوضاعا مائلة على المستوى الأفقي (الشكل 12-5). وهنا يجب الإشارة إلى أن الزاوية المحصورة بين محور الطية الغاطسة وبين أي مستوى أفقي قاطع له تعرف بزاوية الغطس. عندما يغطس محور الطية في اتجاهين متضادين على طول امتداده يتكون ما يعرف بالطية مزدوجة الغطس. إذا تقوست طبقات طية محدبة من جميع جوانبها إلى أسفل مبتدئة من قمة الطية فإنه يتكون ما يعرف بالقبة كما هو مبين بالشكل (12-6) وفي حالة إذا ما تقوست طبقات الطية المقعرة من جميع جوانبها إلى أعلى مبتدئة من قاعها فإنه يتكون ما يسمى بالحوض (الشكل 12-6). وعلى هذا الأساس يمكن القول بأن قمة الطية المحدبة تتمثل عند أعلى نقطة ارتفاع على سطح أحدث طبقاتها وأن المستوى الأعلى (القمي) لها هو ذلك المستوى الذي يمر بأعلى النقاط ارتفاعا على أسطح طبقاتها. وعلى العكس من ذلك فإن الطية المقعرة يتمثل عند أدنى نقطة إرتفاع على سطح أحدث طبقاتها كما وأن المستوى السفلي القاعي للطية المقعرة هو ذلك المستوى الذي يمر بأقل النقاط ارتفاعا على أسطح طبقات هذه الطية. ينطبق المستوى القمي أو القاعي على المستوى المحوري للطية إذا كانت هذه الطية متماثلة ولا تنطبق على بعضها البعض في حالة

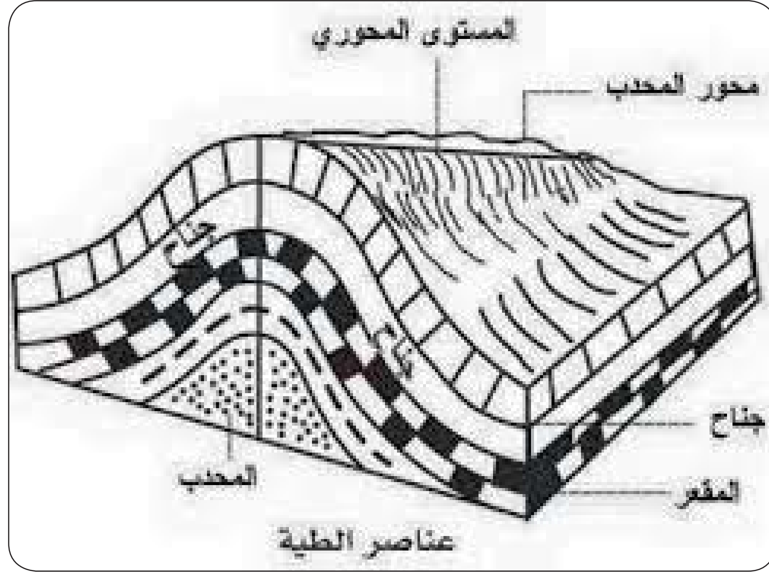


الطيات الغير متماثلة. تعرف الزاوية المحصــورة بين المســتوى المحوري للطية الغير متماثلة وأي من المستويين القمي أو القاعي بزاوية الانحراف.

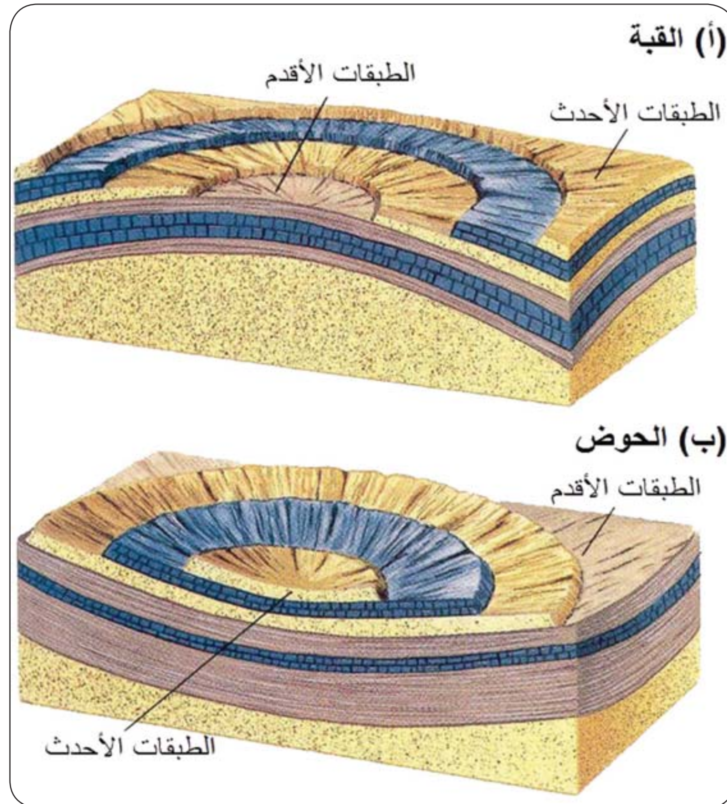


الشكل (4-12): يبين شكل الطية المحدبة والطية المقعرة





الشكل (5-12): يبين شكل طية غاطسه محدبة



الشكل (6-12): يبين الفرق بين القبة والحوض



هناك أنواع أخرى من الطيات تعرف بالطيات الإقليمية وهذه تكون إما مقعرة أو محدبة. فإذا كانت الطية على هيئة حوض ضخم يشغل مساحة شاسعة من الأرض تقدر بآلاف الكيلومترات المربعة وبحيث يمتلئ قاعه بكميات هائلة من الرسوبيات قد تصل في سمكها إلى عشرات الكيلومترات فإن هذا الحوض يطلق عليه اسم المقعر الإقليمي. أما إذا كانت الطية على هيئة محدب ضخم يجاور ذلك المقعر الإقليمي فإن الطية في هذه الحالة يطلق عليها اسم المحدب الإقليمي. وفي حالة ما إذا احتوى أي من هاتين الطيتين الإقليميتين على طيات أخرى أصغر كثيرا منها في الحجم والانتشار فإنه يتكون لدينا ما يعرف بالمحدب الإقليمي المركب أو المقعر الإقليمي المركب.

4-12 مكاشف الطيات على الخرائط الطبوغرافية

Outcrops of Folds on Topographic Maps

لا تختلف الطيات كثيرا في طريقة تمثيلها على الخرائط الطبوغرافية عن تلك التي يمثل بها منكشف أي تتابع منتظم من طبقات الصخور الرسوبية المائلة على هذه الخرائط، وذلك لأن كل من جناحي الطية سواء كانت متماثلة أو غير متماثلة، غاطسة أو غير غاطسة ما هو في الحقيقة إلا تتابع منتظم من الطبقات الصخرية المائلة.

ولكي يمثل الجيولوجي الطية على الخرائط الطبوغرافية لابد أولا من أن يحدد على مسطح هذه الخارطة ذلك الخط الذي يفصل بين مجموعتين من خطوط الامتداد المرسومة على سطح أي طبقة من طبقات هذه الطية بشرط أن تتدرج قيم ارتفاعات كل مجموعة على حدة بمعدل ثابت، سواء بالزيادة أو النقص في اتجاه هذا الخط، وبذلك يكون الجيولوجي قد حدد مسار اتجاه محور الطية. وهنا بعد تحديده سيتم التعامل مع الخريطه وكأنها خريطتين او مجموعتين لطبقات مائله يفصلهما حور الطية. وفي جميع الأحوال يجب أن تظهر خطوط الامتداد لكل مجموعة من هاتين المجموعتين وكذلك خط المحور موازية لبعضها البعض على مسطح الخارطة بصرف النظر عن اختلاف نوع الطية أو صنفها. يجب الأخذ في الاعتبار مراعاة التالي:



- إذا كانت خطوط الامتداد لكل مجموعة تتدرج في قيم ارتفاعاتها بالزيادة كلما اتجهنا ناحية خط المحور كانت الطية الممثلة على الخارطة طية محدبة. أما إذا كان التدرج في قيم الارتفاعات ناحية المحور بالنقصان فإن الطية الناتجة تكون مقعرة.

- إذا تساوت المسافة الأفقية التي تنحصر بين كل خط امتداد وآخر (المسافة المضربية) على جانبي المحور فإن الطية المرسومة تكون متماثلة. أما إذا كانت خطوط الامتداد المرسومة على أحد جانبي المحور تحصر فيما بينها مسافة مضربيه تختلف في قيمتها عن المسافة المضربية المحصورة بين خطوط الامتداد المرسومة على الجانب الآخر للمحور فإن الطية المرسومة تعرف بأنها غير متماثلة.

- عند تلاقي خطوط التلاصق لمنكشف أسطح طبقات الطية المرسومة على أحد جانبي محور الطية مع نظيرتها المرسومة على جانبه الآخر كانت الطية غاطسة. وفي هذه الحالة يجب أن تقع جميع نقط التلاقي على طول امتداد خط المحور. وتعتبر الطية غاطسة في الاتجاه الذي تتلاقى عنده خطوط التلاصق لأسطح الطبقات المطوية إذا كانت الطية محدبة وعكس ذلك في حالة الطيات المقعرة.

- إذا كانت خطوط التلاصق لمنكشف طبقات الطية المختلفة موازية لبعضها البعض كما توازي أيضا محور الطية كانت الطية الممثلة غير غاطسة.

- يكون هناك تكرار متناظر لنوعية منكشف طبقات الطية المختلفة حول خط المحور بصرف النظر عن نوعية الطية.

- تتميز الطية المحدبة سواء متماثلة أو غير متماثلة غاطسة أو غير غاطسة بتواجد خط محورها بين خطي تلاصق صخور لها التي تكون عادة أقدم صخور الطية عمرا، بينما في الطية المقعرة فإن محورها ينحصر دائما بين خطي تلاصق لها الذي يتكون في هذه الحالة من أحدث صخور الطية عمرا.



- خطوط الامتداد الممثلة لسطح أي طبقة بالطية والتي تكون مرسومة على مسطح الخارطة يمكن استخدامها هي نفسها عند تحديد خطوط الامتداد على نفس الخارطة لأي سطح طبقة أخرى قد تقع أعلاها أو أسفلها. على هذا الأساس يمكن رسم منكشف عدد من الطبقات المرصوصة بعضها فوق بعض على مسطح خارطة واحدة بواسطة مجموعة واحدة من خطوط الامتداد الممثلة لسطح واحد فقط من أسطح هذه الطبقات جميعا بشرط أن يكون معلوما لدينا قيمة السمك الرأسي لكل طبقة منها. فمثلا إذا كانت خطوط الامتداد المرسومة أولا على مسطح الخارطة هي للسطح السفلي لطبقة من الحجر الرملي فإنه يمكن استخدامها هي نفسها لتحديد السطح العلوي للطبقة. بالمثل يمكن استخدام نفس خطوط الامتداد للسطح السفلي لطبقة الحجر الرملي أيضا لتحديد السطح العلوي لطبقة من الطفل تقع أسفلها إذا ما طرحنا من قيم ارتفاعاتها قيمة السمك الرأسي لطبقة الطفل. كما يمكننا تحديد خطوط الامتداد للسطح العلوي لطبقة الحجر الجيري عن طريق استخدام نفس مجموعة خطوط الامتداد الممثلة للسطح السفلي للحجر الرملي إذا ما أضفنا لقيم ارتفاعاتها قيمتي السمك الرأسي لكل من طبقتي الحجر الرملي والحجر الجيري وهكذا.

- يجب أن يتم استخدام الرموز والمصطلحات التركيبية المتعارف عليها بين الجيولوجيين عند تمثيل تراكيب الطيات على الخرائط الطبوغرافية مثل خط والمضرب والميل لكل مجموعه من خطوط المضرب على جانبي المحور ليسهل تحديد نوع الطية. يوضح الشكل (7-12) مثال لخارطة يظهر فيها محور طيه محدبه والذي يقسم الخارطة الى قسمين كل قسم يحتوي على معلومات لرسم خطوط المضرب وكأن كل جزء طبقة مائلة. سيتم رسم خطوط المضرب لكل جزء بمعلومية ميل ونقطة لكل جزء لنفس سطح الطبقة، حيت تمثل النقطة أ للجزء الأيمن والنقطة ب للجزء الأيسر.



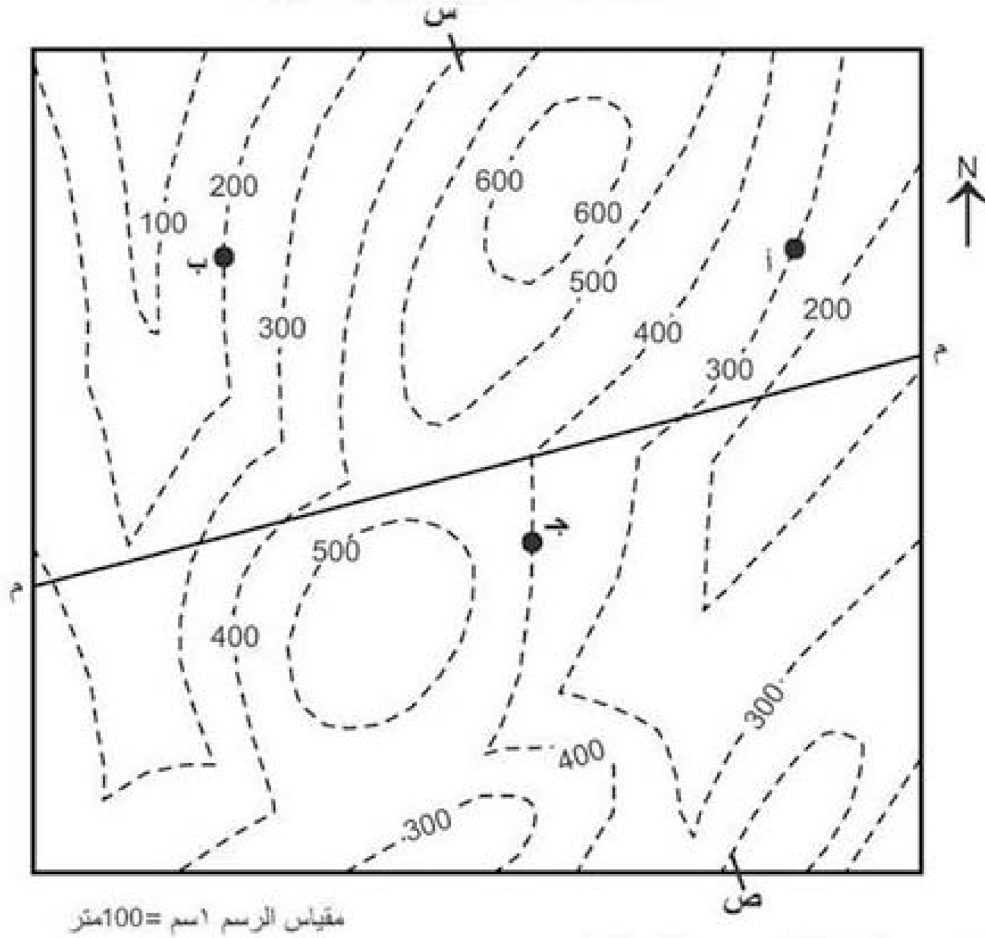
محور الطية

1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
500
600
600
500
400
أ
62° 36
ب
45°
400
300
200
100
200
300
400
500
600
700
800
900
0 100 200m

الشكل (7-12): يوضح خريطة كنتورية ممثل عليها محور طية ومعلومات لرسم خطوط المضرب لسطح الطبقة المائل



سيتم اعطاء مثال تطبيقي لخريطة طبوغرافية كنتورية لمكشف طية كما هو موضح بالشكل (12-8) وبياناته كالتالي: يمثل الخط (م م) محور طية غير معلومة، عند النقاط أ، ب يظهر السطح السفلي لطبقة من الحجر الرملي سمكها الرأسي (100م) تعلوها طبقة من الحجر الجيري سمكها الرأسي (200م) والتي تعلوها طبقة من الكونجلوميرات غير معلومة السمك وتحت طبقة الحجر الرملي طبقة من الطفلة غير معلومة السمك، وعلى الجانب الاخر من المحور يظهر عند النقطة (جـ) السطح السفلي لطبقة من الحجر الجيري. والمطلوب رسم مكاشف الطبقات ورسم القطاع (س ص).



الشكل (12-8): مثال تطبيقي لأحد مكاشف الطيات على الخرائط الطبوغرافية الكنتورية



يتم الإجابة على هذا المثال في نقاط كالتالي:

1 - خط المحور هو خط مضرب له قيمة وبالتالي نرسم أول خط مضرب سيمر بالنقطة (أ) على ان يكون موازي لخط المحور وستكون قيمته (300) ويكون على السطح السفلي لطبقة الحجر الرملي.

2 - نرسم خط مضرب آخر يمر بالنقطة (ب) وموازي للخط الأول وتكون قيمته (200) وهو أيضا على السطح السفلى لطبقة الحجر الرملي.

3 - نقيس المسافة المضربية وهي المسافة العمودية بين خطي المضرب والتي تساوي (2 سم)، وزاوية الميل يتم حسابها من قانون ظل الزاوية السابق ذكره والتي تساوي (26.5 درجة)، ثم نرسم باقي خطوط المضرب في الجزء الشمالي من الخريطة على شمال خط المحور.

4 - نحدد نقاط المكشف على السطح السفلي لطبقة الحجر الرملي، ثم نرسم السطح السفلي لطبقة الحجر الرملي وهو نفسه السطح العلوي لطبقة الطفلة.

5 - مع إضافة سمك طبقة الحجر الرملي (200م) لقيم خطوط المضرب التي تمثل السطح السفلي لطبقة الحجر الرملي، نحصل على قيم جديدة لخطوط المضرب تمثل السطح العلوي لطبقة الحجر الرملي وهو نفسه السطح السفلى لطبقة الحجر الجيري.

6 - نحدد نقاط المكشف على السطح العلوي لطبقة الحجر الرملي ونرسم السطح العلوي للطبقة.

7 - يتم إضافة سمك طبقة الحجر الجيري (200م) على قيم خطوط المضرب التي تمثل السطح السفلي لطبقة الحجر الجيري لنحصل على قيم جديدة لخطوط



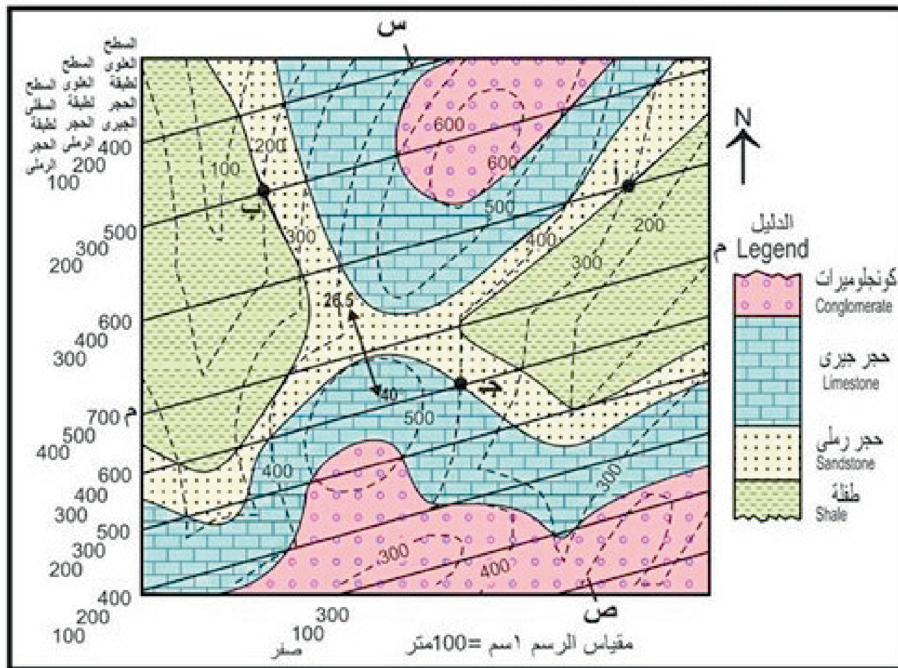
المضـرب تمثل السـطح العلوي لطبقة الحجر الجيري وهو نفسه السطح السفلى لطبقة الكونجلوميرات.

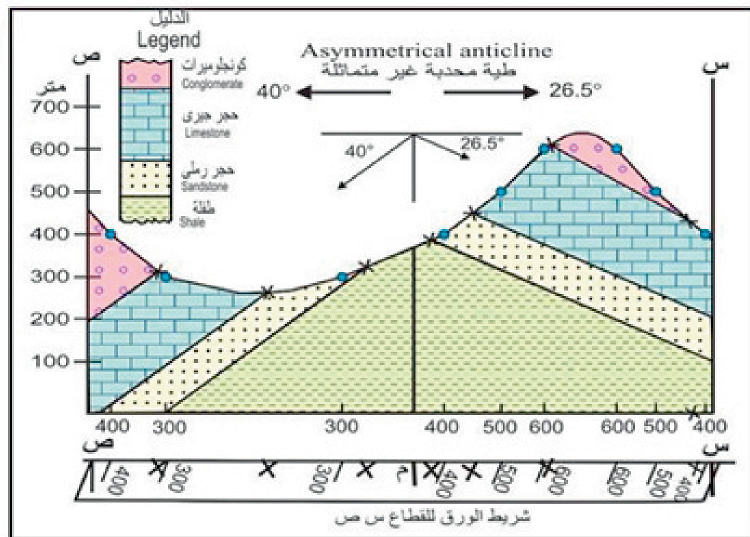
8 - نحدد نقاط المكشـف على السـطح العلوي لطبقة الحجر الجيري ونرسم السطح العلوي للطبقة.

9 - بنفس الطريقة نقوم برسـم خطوط المضـرب ومكاشـف الطبقـات على الجانب الجنوبي من المحور. المسـافة المضـربية في هذه الحالة تساوي (1.2 سم)، ومن خلال قانون ظل الزاوية ، زاوية الميل تساوي (40 درجة).

يظهر من المثال ان خط المحور هو خط مضـرب مشـترك قيمته (400، 500، 700) كما هو موضـح بالشكل (12-9). المسافة المضربية على جانبي المحور تكون مختلفة وكذلك قيم الميـل مختلفـة واتجاهاته بعيد عن محور الطيـة مما يعنى وجود طية محدبـة غير متماثلة. ولرسم القطاع الجيولوجي للطية يتم أولاً رسم قطاع بروفيلي ثم بعد ذلك نحدد محور الطية على شريط الورق وكذلك نقاط المكاشف (الشكل 12-9). ثم نرسم خط أفقي فوق القطاع وعليه خط أخر عمودي يمثل محور الطية ومن هذا الخط يتم رسم خطوط أخرى تمثل زوايا ميل الطبقات على جانبي المحور. يتم رسـم أسـطح الطبقات موازيـة لزاوية الميل من نقاط المكشـف الموجودة على البروفيل، مع الاخذ في الاعتبار رسـم خط يمثل المحور في مكانه على القطـاع. تميل الطبقات بعيداً عن المحـور في حالة الطيات المحدبة وتميل في اتجاه المحور في حالة الطيات المقعرة. تتلاقي أسـطح الطبقات عند المحور ويتم توصيلها بشكل منحني حتى تعطي الشكل العام للطية سواء أكانت محبة أو مقعرة.







الشكل (12-9): يوضح مكشف الطية والبروفيل الجيولوجي لها والمطلوب الإجابة عليهم في الشكل (12-8)

5-12 عناصر الصدع

للصدوع عناصرها التركيبية المميزة كما للطيات (الشكل 12-10) كما يلي:

- مستوى الصدع Fault plane

وهو ذلك المستوى الذي تتحرك على جانبيه الكتل الصخرية المهشمة واحدة بعكس الأخرى. ويلاحظ دائما أن لكل مستوى من هذه المستويات سطحين اثنين: أحدهما أمامي وهو الذي يحصر فيما بينه وبين أي مستوى أفقي قاطع له زاوية ميل حادة قد تزيد أو تقل في قيمتها عن (45^0)، والسطح الآخر خلفي وهو ذلك السطح من مستوى الصدع المقابل للزاوية المكملة لزاوية ميل مستوى الصدع.

- الحائط المعلق Hanging wall

وهو اصطلاح يطلقه الجيولوجي عادة على كتلة الصخور التي تتحرك (سواء إلى أعلى أو إلى أسفل) على سطح الصدع الأمامي لمستوى الصدع.

- الحائط القدمي Foot wall

وهو الذي يتمثل أساسا في كتلة الصخور التي تتحرك (سواء إلى أعلى أو إلى أسفل) على سطح الصدع الخلفي لمستوى الصدع. وسوف يتم استخدام من الآن فصاعدا لفظي الحائط الأمامي والحائط الخلفي بدلا من لفظي الحائط المعلق والحائط القدمي على الترتيب. وقد أصطلح أيضا على تسمية الكتل الصخرية التي تبدو صاعدة لأعلى (سواء كانت هذه لصخور الحائط الأمامي أو الحائط الخلفي) بصخور الرمية العليا بينما تسمى الكتل الصخرية التي تبدو هابطة إلى أسفل (سواء كانت هي الأخرى متاخمة لأي من سطحي الصدع لمستوى الصدع) بصخور الرمية السفلى.

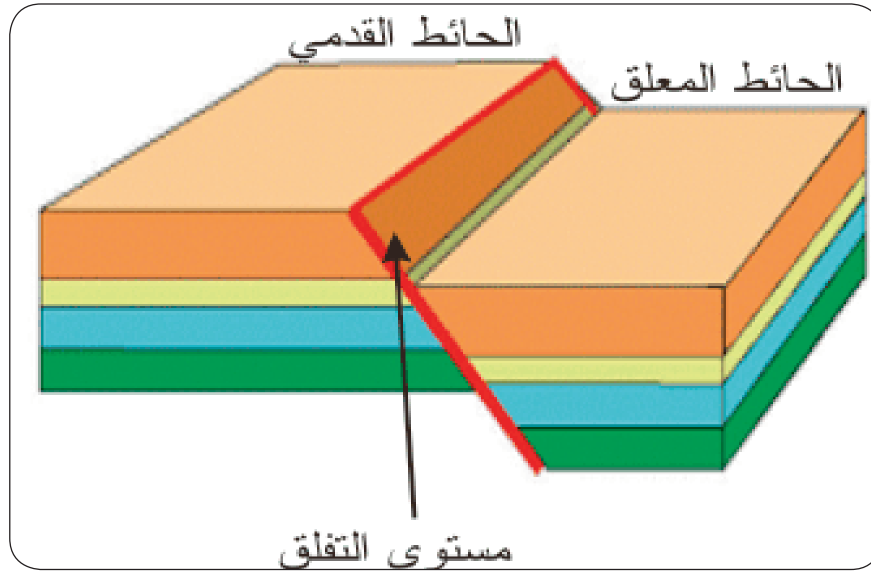
6-12 تصنيف الصدوع

يتم تصنيف الصدوع على أسس مختلفة، سيتم التركيز هنا على الأنواع الأساسية من هذه الصدوع وأسس تصنيفها على أساس نوعية حركة صخور كل من الحائطين الأمامي والخلفي بالنسبة لبعضها البعض.



1 - صدوع الحركة الانتقالية :

أ) الصـدوع العاديـة Normal faults أو صـدوع الجاذبيـة Gravity faults : تبـدوا في هذه الكتل الصخور المتاخمة لسطح الصدع الأمامي لمستوياتها (صخور الحوائط الأمامية) وكأنها هابطة إلى أسـفل بالنسبة لصخور حوائطها الخلفية التي تبدو وكأنها صاعدة لأعلى (الشكل 12-11& 12-12).



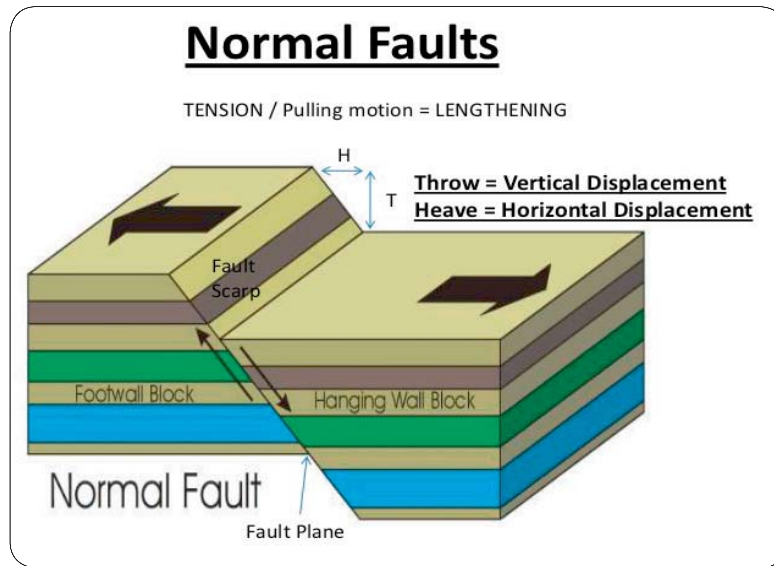
الشكل (12-11): يوضح عناصر الصدع

ب) الصـدوع العكسـية Reverse faults : فهـي التـي تبـدو فيهـا صـخور حوائطهـا الأمامية وكأنها صـاعدة لأعلى بالنسبة لصـخور حوائطها الخلفية التي تبدو وكأنها هابطة (شكل 12-13).

ج) الصـدوع الخندقية والسـرج والسـاتر Graben and Horst faults : إذا تصـدعت صـخور منطقـة ما بصـدعين عاديين وحـدث أن تلاقـى الحائطين الأماميـين لهما في كتلة صـخرية متلاحمة تكون ما يعرف باسـم الخندق الصـدعي. وهذا يختلف عما يعرف باسم الساتر السرج الذي يتكون أصلا عندما تتلاحم صخور الحائطين الخلفيين لصدعين عاديين في كتلة صخرية واحدة كما هو مبين بالشكل (12-14).



د) صدوع الانزلاق: Slip faults وهي على ثلاثة أنواع صدوع الانزلاق المضربي وصدوع انزلاق الميل وصدوع الانزلاق الكلي كما هو مبين بالشكل (12-15). يقدر الانزلاق الكلي عادة بالمسافة التي تتحركها صخور كل من حائطي الصدع الأمامي والخلفي بالنسبة لبعضها البعض وهذه يمكن تحليلها على مستوى الصدع إلى مركبتين أساسيتين: الأولى في الاتجاه الذي يضرب فيه مستوى الصدع وتسمى بمركبة الانزلاق المضربي أو الامتدادي، والثانية في الاتجاه الذي يميل فيه مستوى الصدع وتسمى بمركبة انزلاق الميل.

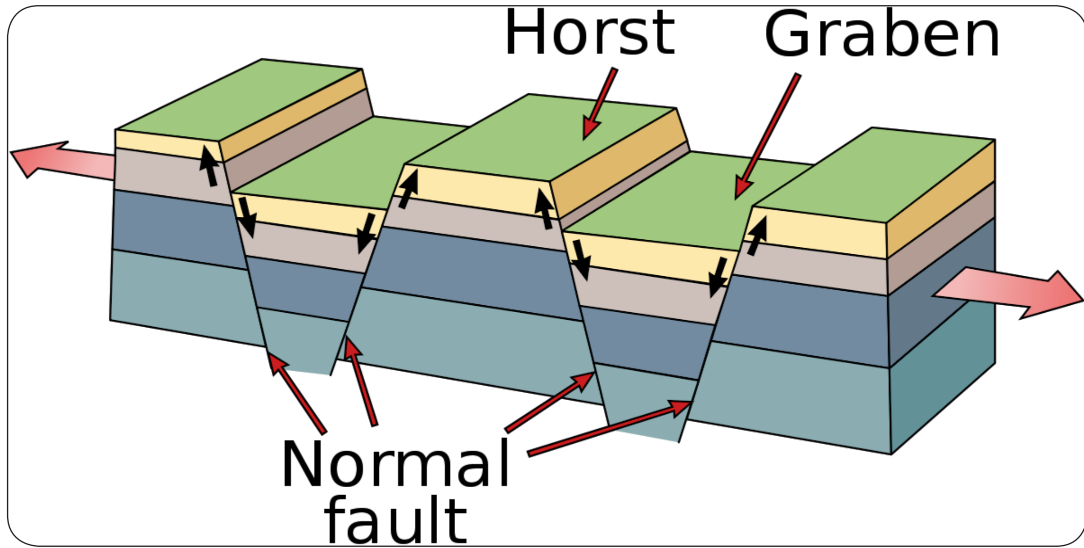


الشكل (12-12): يبين صدع عادي

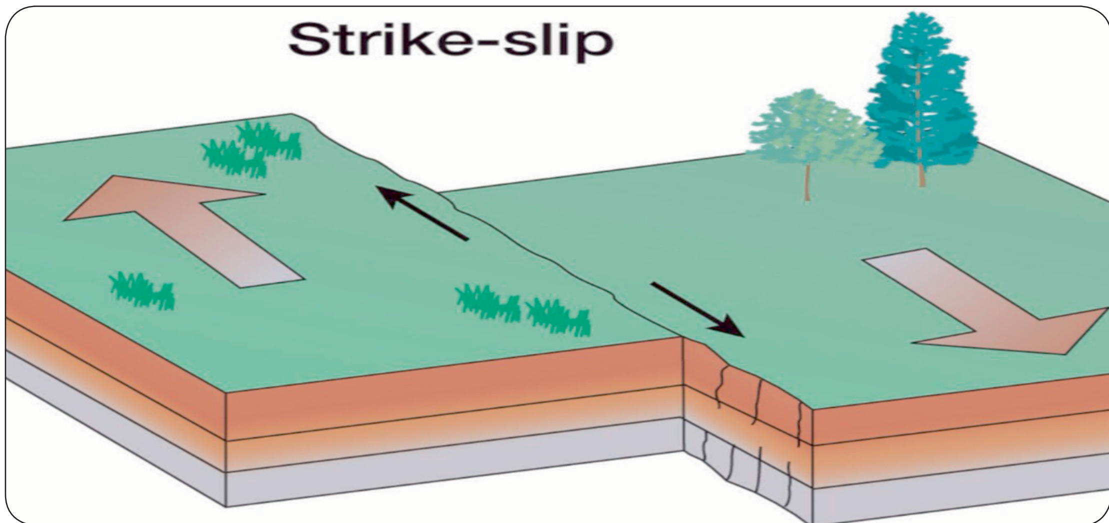


الشكل (12-13): يوضح صدع عكسي





الشكل (12-14): يوضح التحام صدعين ليكونا ما يعرف بالخندقي والساتر السرج



الشكل (12-15): يبين صدع الانزلاق المضربي



7-12 كيفية تمثيل الطبقات المتصدعة على الخرائط الطبوغرافية

يتم تمثيل منكشف الطبقات المتصدعة على الخرائط الطبوغرافية باتباع الخطوات التالية : -

1 - يحدد أولا خط أثر الصدع على مسطح الخارطة. وأثر الصدع هو ذلك الخط الذي ينتج عن تقاطع مستوى الصدع مع سطح الأرض.

2 - ثم بعد ذلك ترسم على مسطح الخارطة خطوط التلاصق لمنكشف الطبقات المتصدعة كل على حدة. إذا كانت الطبقات أفقية عديمة الميل فترسم خطوط تلاصقها على جانبي خط أثر الصدع موازية لخطوط الكنتور الممثلة عليها مع مراعاة أن تكون هناك إزاحة ظاهرية أفقية لكل خط من خطوط التلاصق هذه عندما يجتاز خط أثر الصدع تتساوى في قيمتها مع قيمة رمية الصدع. إذا كانت الطبقة والمراد تمثيل منكشفها على الخرائط الطبوغرافية مائلة فيجب عند رسم خطوط الامتداد لأي من أسطحها على مسطح الخارطة إتباع إحدى الطرق المعروفة حسب البيانات المعطاة مع مراعاة ما يلي:

- أن خطوط الامتداد لسطح أي طبقة لا يجب أن يحدث لها أي إزاحة ظاهرية عند اجتيازها أو قطعها خط أثر الصدع.

- أن تكون قيمة إرتفاع كل خط من خطوط الامتداد المرسومة على سطح أي من الطبقات المتصدعة والموجودة ضمن صخور الكتلة الهابطة أقل من قيمة الارتفاع لخط الامتداد لسطح الطبقة ذاتها الموجودة ضمن صخور الكتلة الصاعدة وذلك بمقدار رمية الصدع، هذا إذا لم تتغير قيم ميل واتجاهات مستويات الطبقات بعد عملية التصدع. فإذا كانت قيم الارتفاعات لخطوط الامتداد المرسومة لسطح طبقة ما موجودة ضمن صخور الكتلة الهابطة هي 200 ، 225 ، 250 مترا فإن قيمة الارتفاعات لنفس خطوط الامتداد لسطح نفس الطبقة الموجودة ضمن صخور الكتلة



الصاعدة للصدع تكون 225 ، 250 ، 275 مترا على الترتيب، هذا إذا ما كانت رمية الصدع 25 متر والعكس صحيح. إذا ما علمنا قيم ارتفاعات خطوط الامتداد المتناظرة لمنكشف سطح أي طبقة متصدعة على جانبي خط أثر الصدع أمكن بسهولة تقدير قيمة رمية هذا الصدع.

يجب ملاحظة التالي:

- إن اتجاه الخط الأقصر طولا يرمز لاتجاه الميل الذي يرسم عادة على أحد جانبي مستوى الصدع، وهذا الخط القصير يشير دائما إلى الاتجاه الذي يميل فيه مستوى الصدع في الطبيعة وليس بالضرورة إلى الاتجاه الذي تتواجد فيه كتلة الصخور الهابطة إلا إذا كان لدينا ما يؤكد أن الصدع هو صدع عادي، لأنه في كثير من الأحيان قد تتواجد كتلة الصخور الهابطة في الجهة المقابلة للجهة التي يميل فيها مستوى الصدع وخاصة إذا ما كان الصدع عكسي.

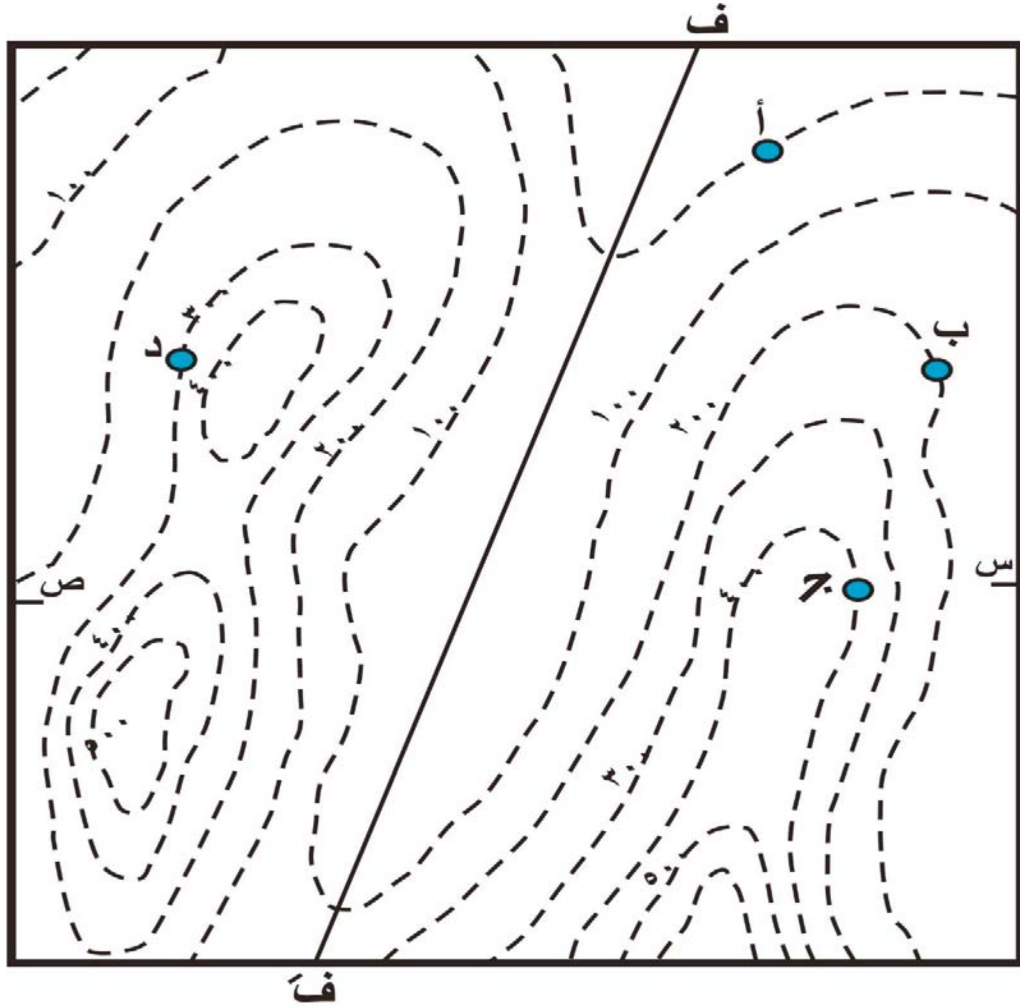
- عندما تنكشف على الخارطة صخور حديثة أمام صخور أقدم منها في العمر على طول امتداد أثر الصدع فإن الجهة من أثر الصدع التي تنكشف فيها الصخور القديمة تكون هي دائما الكتلة الصاعدة سواء كان الصدع عاديا أم عكسيا.

- يجب اعتبار جميع الصدوع الممثلة على الخرائط الجيولوجية صدوع تنعدم فيها مركبة الانزلاق المضربي مالم يكن هناك دليلا واضحا يؤكد وجود هذا الانزلاق المضربي. وبالتالي تكون جميع الصدوع الممثلة على الخرائط إما صدوع ميل (عادية أو عكسية) ما لم ينص على غير ذلك. ومن الظواهر الجيولوجية الأخرى التي يمكن أن تشير لوجود مركبة انزلاق مضربي للصدع أن تظهر مثلا على أحد جانبي أثر هذا الصدع كتلة من الصخور الصاعدة تجاورها كتلة من الصخور الهابطة بينما تظهر على الجانب الآخر لأثر الصدع نفسه كتلة من الصخور الهابطة تجاورها كتلة من الصخور الصاعدة. وجدير بالذكر أن مثل هذه الظاهرة يمكن لها أيضا أن تصاحب وجود الصدوع الدورانية وخاصة صدوع المقص.



وبناءا على ما تقدم يمكن القول أن الإزاحة الأفقية التي تحدث لخطوط التلاصق لمنكشف الطبقات المتصدعة عند اجتيازها خط أثر الصدع على مسطح الخارطة هي إزاحة ظاهرية ولا تعني أبدا أن للصدع مركبة انزلاق مضربي إلا إذا كان هناك من الظواهر الجيولوجية ما يؤكد غير ذلك، وحين يتأكد وجود مثل هذه الظواهر فإن الإزاحة الأفقية تسمى بفاصلة الصدع المضربية، وتقاس عادة بالمسافة بين خطي التلاصق لسطح منكشف الطبقة المتصدعة على طول امتداد أثر الصدع. يوضح الشكل (12-16) خريطة يظهر بها خط أثر الفالق ف-ف¯ حيث ينكشف السطح العلوي لطبقة من الطفل سمكها الرأسي 200 متر عند النقط (أ، ب، جـ، د). سيتم رسم مكشف السطح العلوي للحجر الرملي المائل من خلال هذه النقاط الأربعة السابقة ومن خلال الخطوات المتبعه لرسم مكاشف الطبقات المائلة ورسم خطوط المضرب، حيث سنجد هناك خط مضرب أو خط مساعد يمر بالنقطتين ج، د رغم انه نفس الخط لكنه سيأخذ قيمتين 200 متر الممثلة للنقطة ب ، 300 الممثله للنقطه د على جانبي الفالق وبالتالي يمكن تحديد رمية الفالق والتي ستساوي الفرق بين النقطتين وهو 100 متر كرمية للفالق. يمكن بعد ذلك رسم السطح السفلي لطبقة الحجر الرملي من خلال تقليل سمك الطبقة الرأسي (200 متر) من كل قيمة لخط المضرب.





الشكل (12-16) : يوضح الشكل خريطة يظهر بها خط أثر الفالق ف-فَ وينكشف السطح العلوي لطبقة من الطفل سمكها الرأسي 200 متر عند النقط (أ، ب، جـ، د)

عند تمثيل الصدوع على الخرائط الطبوغرافية يجب ملاحظة التالي:

- أنه إذا كانت الصخور المتصدعة تنكشف على سطح أرض منطقة سهلة التضاريس ظهر أثر الصدع بها على هيئة خط مستقيم، أما إذا كانت المنطقة وعرة التضاريس فإن أثر الصدع قد يظهر على مسطح الخارطة على هيئة خط متعرج غير منتظم الاتجاه.



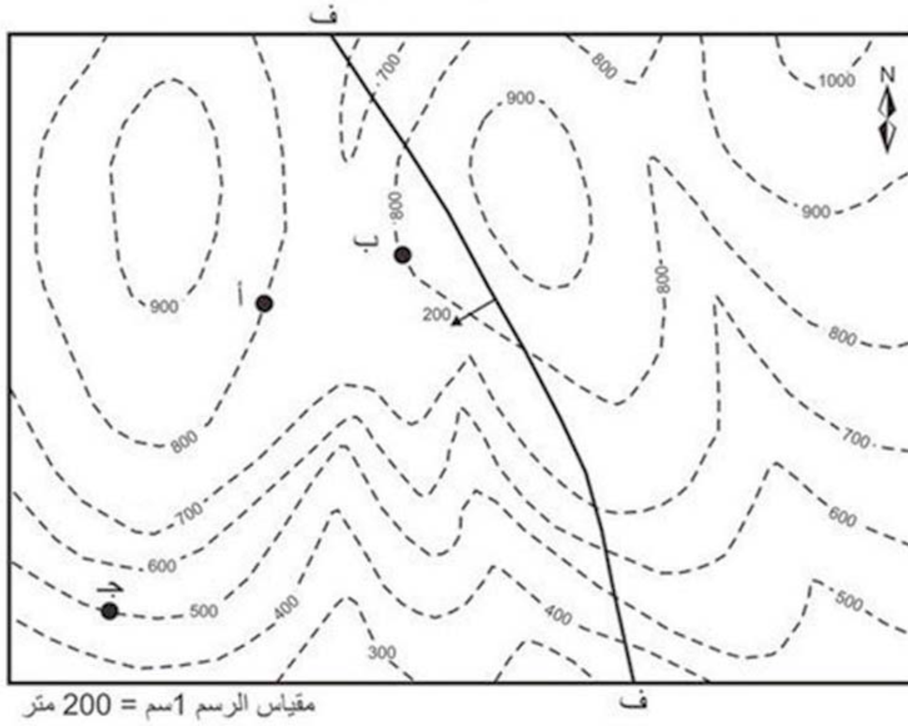
- تقدر كل من درجة ميل ومضرب مستوى أي صدع ممثل على الخارطة بنفس الطريقة المتبعة لتحديد اتجاهي المضرب والميل لسطح أي طبقة مائلة.
- أن هناك خصـائص محددة تتميز بها منكشـف الطبقات التي تتأثر بالصدوع سواء كانت هذه الصدوع عادية أو عكسية أو صدوع ميل أو صدوع مضربيه. ومن أهم هذه الخصـائص خلاف الإزاحة الظاهرية لمنكشف هذه الطبقات المتصدعة على جانبي أثر الصدع مايلي:

1 - حدوث تكرار منتظم لمنكشف طبقة أوعدد من الطبقات على جانبي الصدع
2 - اختفاء طبقة أو عدد من الطبقات المقطوعة بالصدوع.
3 - حدوث تغير في طبيعة وشكل وامتداد منكشف الطبقات المقطوعة.

سـيتم اعطاء مثال تطبيقي لخريطة طبوغرافية كنتورية لمنكشـف صـدع كما هو موضح بالشكل (12-17) وبياناته كالتالي: يظهر السطح العلوي لطبقة من الحجر الرملي سمكها (100م) عند النقط (أ، ب، جـ). فإذا علم أن رمية الصـدع (ف–ف) هي (200م) باتجاه الغرب، والمطلوب:

1 - رسم مكشف طبقة الحجر الرملي.
2 - تعين مقدار واتجاه الميل.





الشكل (12-17): يوضح مثال تطبيقي لمكشف طبقة الحجر الرملي المتأثرة بصدع

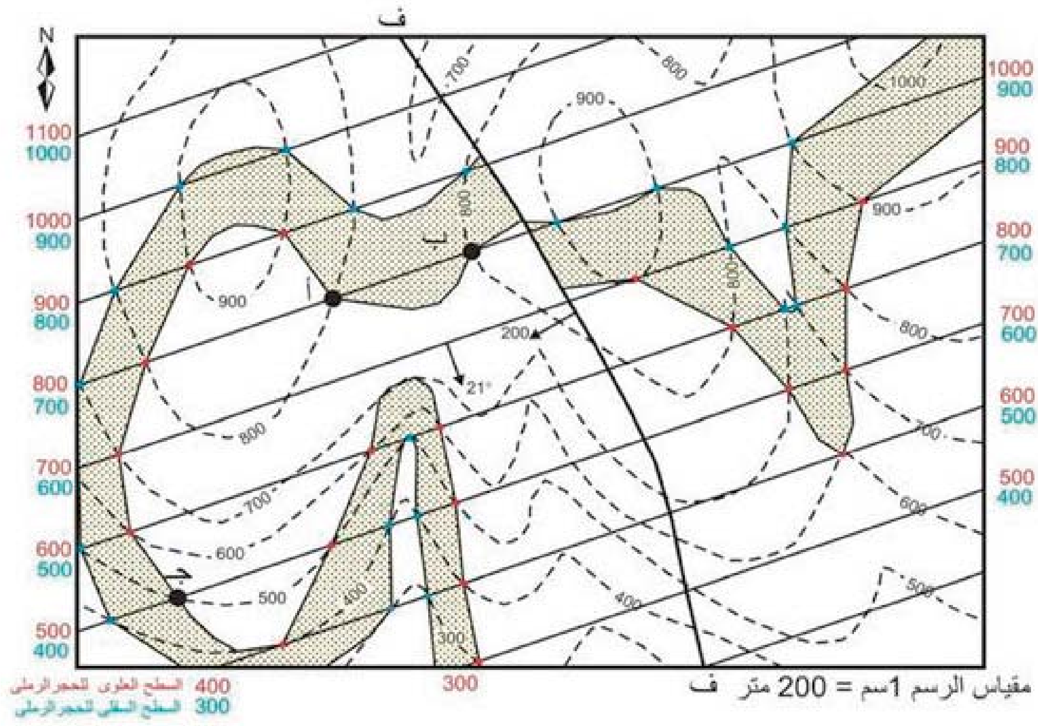
يتم الإجابة على هذا المثال في نقاط كالتالي:

1 - يتم استخدام طريقة بمعلومية نقطتين مكشف على ارتفاع واحد ونقطة على ارتفاع مختلف للطبقات المائلة وذلك لرسم خطوط المضرب على الخريطة.

2 - أول خط مضرب ستكون قيمته (800م) وهو يمر بالنقاط (أ، ب) والخط الثاني سيمر بنقطة (جـ) وموازي للخط الأول وتكون قيمته (500م). ثم نقيس المسافة بين الخطين ونقسمها على ثلاثة لرسم خطين مضرب قيمتهما (600 و 700م). المسافة المضربية تساوي (1.3 سم) وزاوية الميل يتم حسابها باستخدام قانون ظل زاوية الميل مع الاخذ في الاعتبار مقياس رسم الخريطة. نجد ان طبقة الحجر الرملي تميل بمقدار (21 درجة) ناحية الجنوب الشرقي.



3 - يتم رسم مكشف طبقة الحجر الرملي على الجانب الغربي للصدع مع الاخذ في الاعتبار أن سطح الطبقة لا يتخطى خط الصدع. ثم نقوم برسم مكشف طبقة الحجر الرملي على الجانب الشرقي للصدع مع إضافة قيمة رمية الصدع على قيم خطوط المضرب، معني ذلك ان خط المضرب الذي قيمته (800 م) على الجانب الغربي للصدع ستصبح قيمته (1000م) على الجانب الشرقي للصدع كما هو موضح بالشكل (12-18).



الشكل (12-18): يوضح مكشف مكشف طبقة الحجر الرملي المتأثرة بصدع والمطلوب الإجابة عليها في الشكل (12-17)



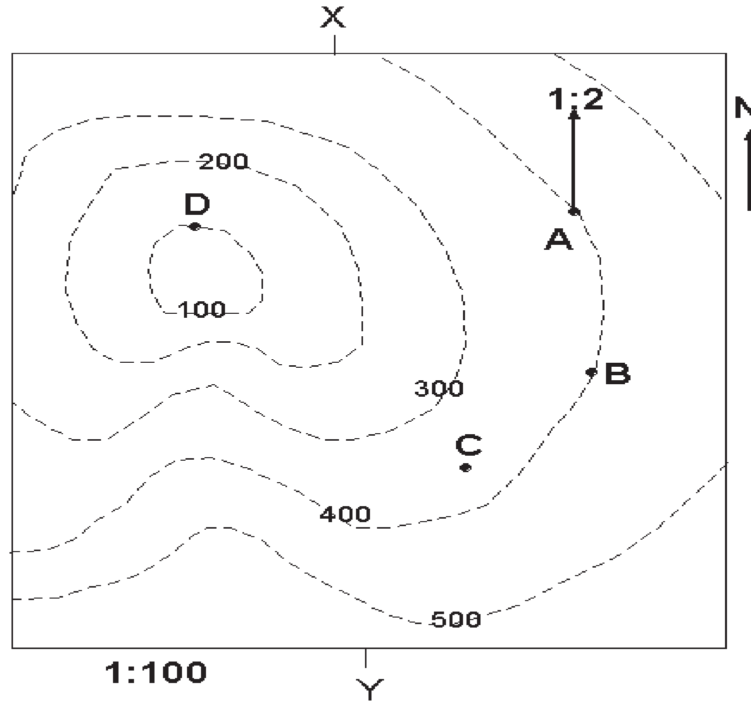
8-12 التمارين العملية

- في الخريطـة المعطاة (الشكل 12-19) يظهر السطح العلوي لطبقة مطوية من الحجر الجيري عند النقطتين A،B وكان سمك الطبقة 100 متر. فإذا علمت أن المحور (MM) الذي حدث حوله طي لهذه الطبقة يقع بين هاتين النقطتين (A،B) فالمطلوب مايلي:

1) رسم منكشف هذه الطبقة على الخارطة بالإضافة إلى رسم محور الطي

2) إذا علمت أن هناك طبقة من الحجر الرملي سمكها (100 متر) تقع فوق طبقة الحجر الجيري وفي نفس الوقت أيضا طبقة ثالثة من الطفلة فالمطلوب رسم مكاشف هاتين الطبقتين السفلى والعليا على نفس مسطح الخارطة المعطاة.

3) حساب العمق الرأسي للوصول إلى كل من السطح العلوي لطبقة الحجر الرملي عند النقطة (C) والسطح السفلي لطبقة الحجر الجيري عند النقطة (D).

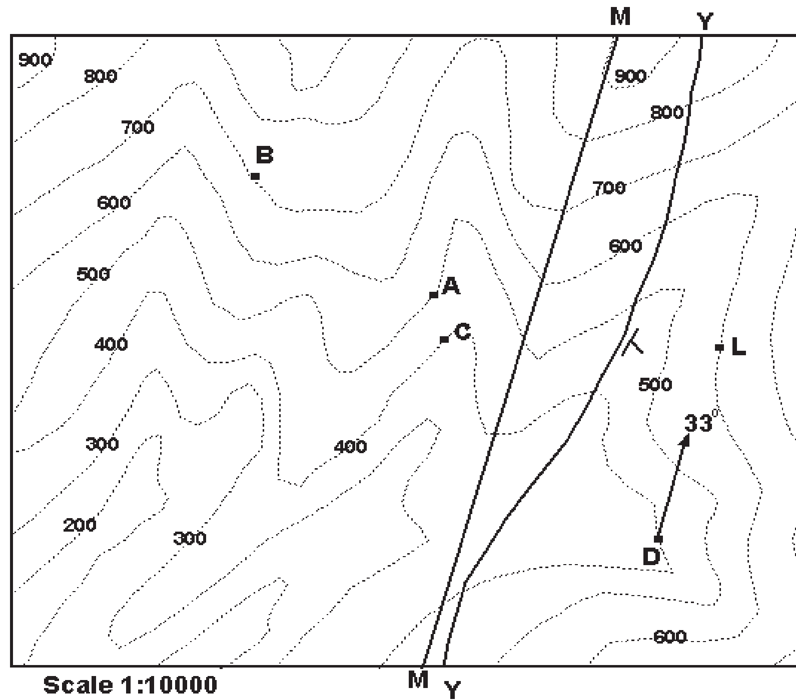


الشكل (12-19)



يوضح الشكل (12-20) طبقة من الحجر الرملي سمكها الرأسي 200م تعلوها طبقة من الحجر الجيري سمكها الرأسي 100م طويتا على طول المحور M-M، ويظهر السطح العلوي لطبقة الحجر الجيري عند النقط A،B، C في شمال المحور بينما يظهر هذا السطح أيضا في النقطة D في جنوب المحور. تصدعت هذه الطبقات بالصدع Y-Y برمية مقدارها 100 م ولكن بقي ميلها ثابت. ثم ترسبت بعد ذلك طبقة أفقية من الحجر الطيني مستواها الآن 850م والمطلوب:

1) تعيين ميل الطبقات في شمال المحور اتجاها ومقدارا مع وصف الطية.
2) رسم ظاهر الطبقات على جانبي المحور.
3) أوجد السمك الحقيقي لطبقة الحجر الجيري والحجر الرملي في شمال المحور.
4) أوجد عمق كلا من طبقتي الحجر الجيري والحجر الرملي من سطح الأرض عند الحفرة L.

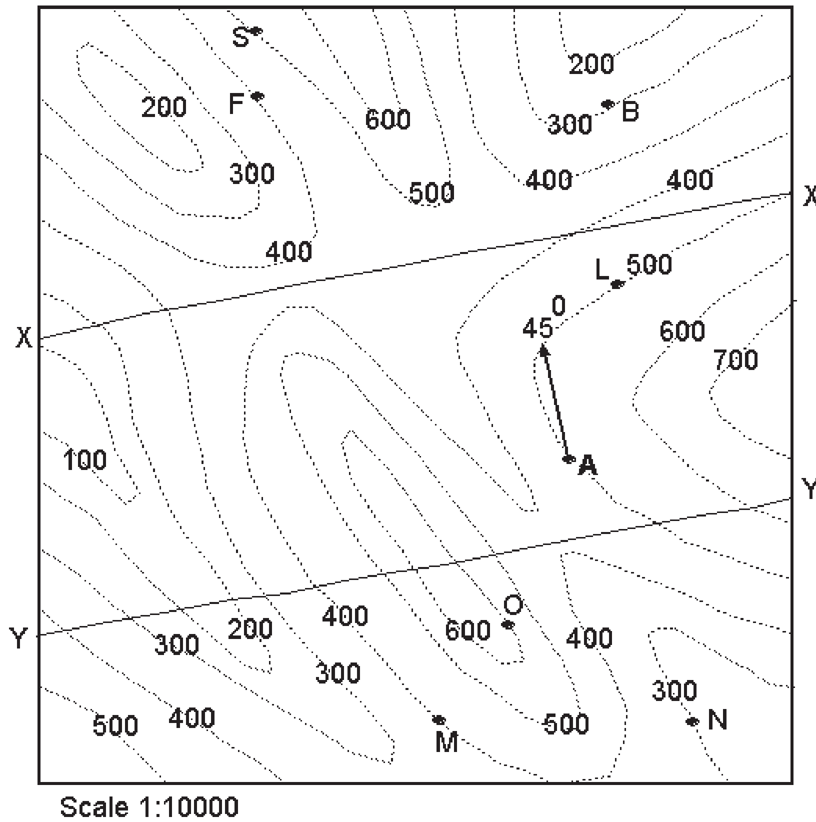


الشكل (12-20)



- يبين الشكل (21-12) طبقتان مائلتان من الحجر الجيري والحجر الرملي سمكهما الرأسي 100،200م على التوالي. انثنت هاتان الطبقتان على المحوران YY,XX كما تصدع الجزء الشمالي من الخريطة بصدع ينطبق على محور الثنية الشمالية دون تغير في مقدار ميل واتجاه الطبقتين. ويظهر السطح السفلي لطبقة الحجر الجيري عند النقط F,S,B,A بينما يظهر السطح الفاصل بينهما والعلوي لنفس النقطة في النقاط O,N,M والمطلوب:

1) رسم ظاهر طبقتي الحجر الجيري والحجر الرملي.
2) تعيين اتجاه ومقدار ميل الطبقتين شمال المحور YY ، وجنوب المحور SS.
3) تعيين نوع واتجاه الطي (الثنيتان) حول المحوران XX،YY
4) تعين مقدار واتجاه رمية الصدع.
5) تعيين بعد الطبقتان عن سطح الأرض عند الحفرة L.



الشكل (21-12)

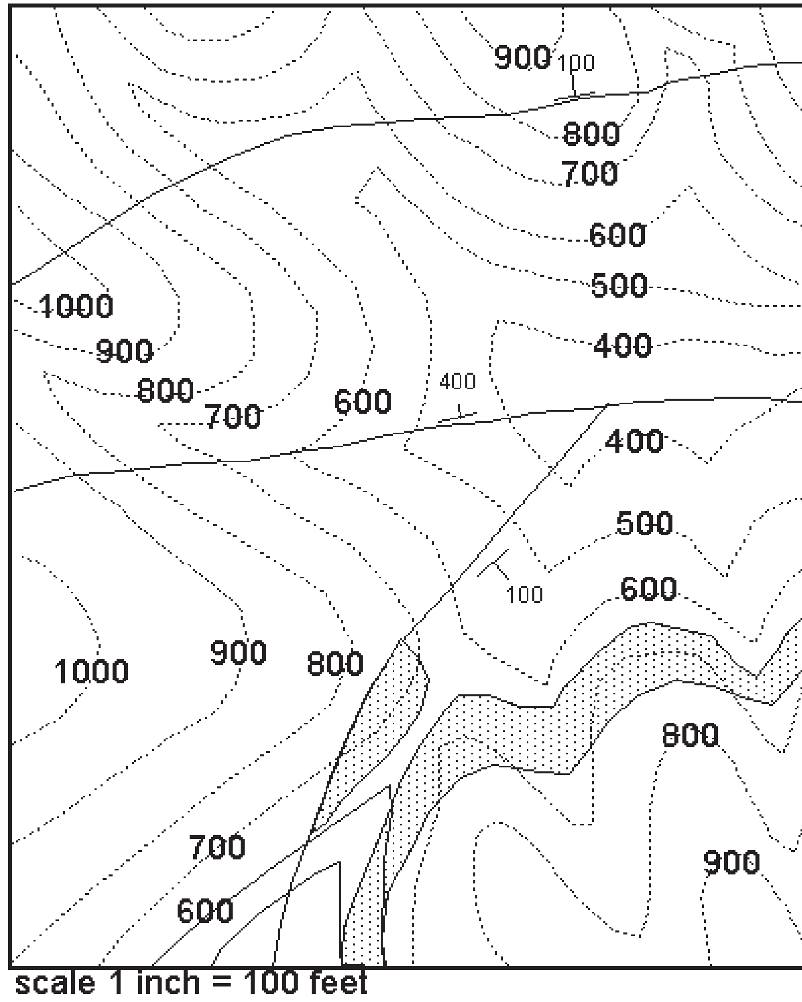


- يظهر في الخريطة المعطاة (الشكل 12-22) جزء من طبقة الحجر الرملي حيث تصدعت بصدوع ثلاثة مبينة رمياتها على الخريطة ولقد احتفظت الطبقة بقيمة ميلها واتجاهه بعد التصدع والمطلوب:

1) تعيين امتداد الطبقة وميلها.

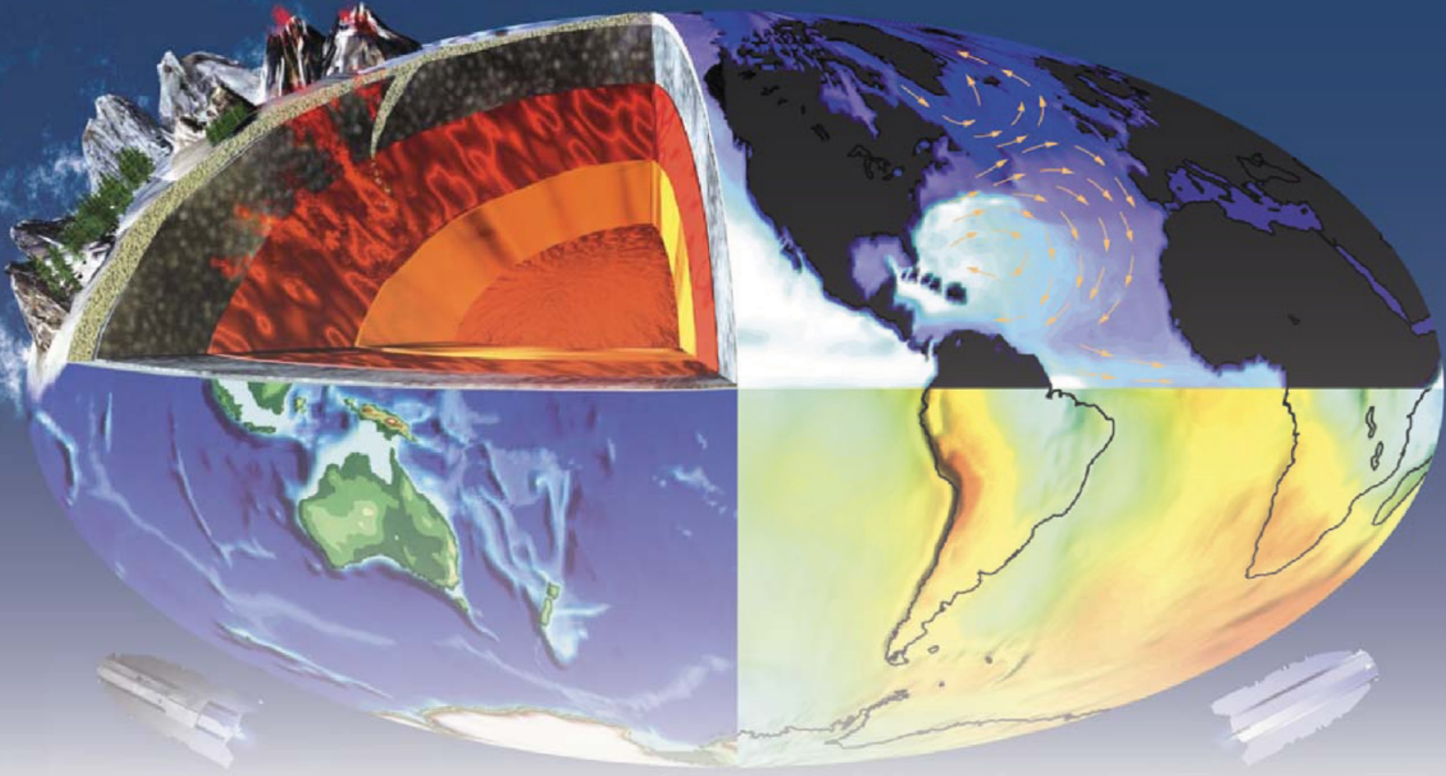
2) تكملة مكشف الطبقة وبيان أثر الصدوع عليها.

3) ماهي العلاقة بين الصدوع من حيث الأقدم والأحدث.



الشكل (12-22)





210 سؤال وجواب في العلوم الجيولوجية

210 Questions & Answers in Geosciences










105 سؤال وجواب في الجيولوجيا العامه

1 ماهو علم الجيولوجيا ؟

Geology is the study of the Earth's processes, products and its history. Geologists are stewards or caretakers of Earth's resources and of its environments. Some of the important ways in which geologists contribute to our understanding of Earth processes and history include-Investigating the planet (and other planets too!) : The soil, oceans, atmosphere, developing land-use plans using GIS and GPS technologies, determining new environmental impacts and finding new sources of useful Earth materials, providing essential information for solving environmental problems. establishing governmental policies for resource management, environmental protection, and public health and safety.

2 ما هي التخصصات المرتبطة بالعلوم الجيولوجية ؟

- *Economic geologists* explore for and develop metallic and non-metallic resources; they study mineral deposits and find environmentally safe ways to dispose of waste materials from mining activities.
- *Engineering geologists* apply geological data, techniques, and principles to the study of rock and soil surficial materials and groundwater; they investigate geologic factors that affect structures such as bridges, buildings, dams and airports.
- *Geochemists* use physical and inorganic chemistry to investigate the distribution of major and trace elements in ground water and Earth materials, and use organic chemistry to study the composition of fossil fuel (coal, oil, and gas) deposits.
- *Environmental geologists* study the interaction between the geosphere, hydrosphere, atmosphere, biosphere and human activities. They work to solve problems associated with pollution, waste management, urbanization, and natural hazards, such as flooding and erosion.
- *Geophysicists* apply the principles of physics to study the earth›s interior and investigate Earth›s magnetic, electric, and gravitational fields.
- *Hydrogeologists* study the occurrence, movement, abundance, distribution, and quality of subsurface waters and related geologic aspects of surface waters.



- *Marine geologists* investigate the ocean-floor and ocean-continent boundaries; they study ocean basins, continental shelves and coastal environments.
- *Mineralogists* study mineral formation, composition, uses and physical and chemical means for identifying them.
- *Oceanographers* investigate the physical, chemical, biological, and geologic dynamics of oceans.
- *Paleontologists* study fossils to understand past life forms and their changes through time and to reconstruct past environments.
- *Petrologists* determine the origin and natural history of rocks by analyzing mineral composition and grain relationships.
- *Planetary geologists* study planets and their moons in order to understand the evolution of the solar system.
- *Sedimentologists* study the nature, origin, distribution, and alteration of sediments such as sand, silt, and mud. Oil, gas, coal and many mineral deposits occur in such sediments.
- *Seismologists* study earthquakes and analyze the behavior of earthquake waves to interpret the structure of the Earth.
- *Structural geologists* analyze rocks by studying deformation, fracturing, and folding of the Earth›s crust.
- *Volcanologists* investigate volcanoes and volcanic phenomena to understand these natural hazards and predict eruptions.

3 ما هو الفرق بين المسامية والنفاذية ؟

Porosity refers to the relative volume of pore space in a rock bed; the greater the porosity of a bed; the greater the porosity of a bed. The more water it can contain. *Permeability* refers to the ease with which water can move through a rock bed; the greater the permeability of a bed, the faster water can flow through it .

4 قطر الأرض عند خط الاستواء أكبر منه عند القطبين بـ .... ؟

a	21 km	b	***43 km***	c	56 km	d	28 km

5 يقع بحر *Tethys* ؟

a	North America and South America	b	North America and Eurasia
c	***Eurasia and Africa***	d	Antarctica and Australia





6	المنطقة الواقعة في الغلاف الجوي والأقرب الى سطح الأرض ..... ؟						
a	exosphere	b	ionosphere	c	stratosphere	d	***troposphere***

7	أي من الحفريات الأهم في تحديد الطبقات البترولية ؟						
a	***Foraminifera***	b	Diatoms	c	Radiolaria	d	Graptolites

8	أي من الصخور يمكن تسميته خزان مائي *Aquifer* ؟						
a	basalt	b	granite	c	quartzite	d	***Sandstone***

9	أحافير *Trilobites* أكثر شيوعا في حقب .... ؟						
a	Cenozoic era	b	Mesozoic era	c	***Paleozoic era***	d	Proterozoic era

10	أفضل مثال للتجوية الفيزيائية ..... ؟
a	***cracking of rock caused by the freezing and thawing of water***
b	transportation of sediment in a stream
c	reaction of limestone with acid rainwater
d	formation of a sandbar along the side of a stream

11	الجريان السطحي المائي *runoff* يكون أعلى ما يمكن عندما ...... ؟
a	rainfall is light and the ground is permeable
b	infiltration rate is greater than the rainfall rate
c	***slope of the land is too great to permit infiltration***
d	ground is permeable and unsaturated



12 أي من المركبات الغازية كانت تمثل النسبة الأعلى في الغلاف الجوي مبكرا ؟

a	N_2 and O_3	b	C_2H_4 and O_2
c	***Ne, Ar, Kr, and Rn***	d	N_2, H_2O, CO_2, CH_4, and NH_3

13 أفضل بيئة مفضلة لحفظ الأحافير........ ؟

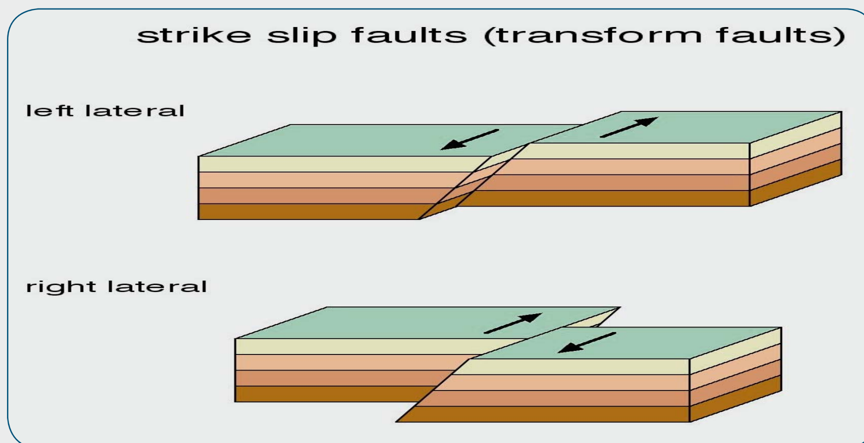
a	Terrestrial	b	Lacustrine	c	Fluvial	d	***Marine***

14 المركبات الأكثر شيوعا والمسببة لـ *hard water* ؟

a	Fluorine	b	***calcium***	c	Iron	d	sulfur

15 ما هو الفرق بين الصدع المضربي (الانزلاقي) اليميني واليساري ؟

The main sense of slip across a strike-slip fault is horizontal. But the movement can be right lateral (ground on opposite side of fault is moving right with respect to the other block) or left lateral (ground opposite moves left).





16 لماذا قيعان المحيطات أحدث من القارات ؟

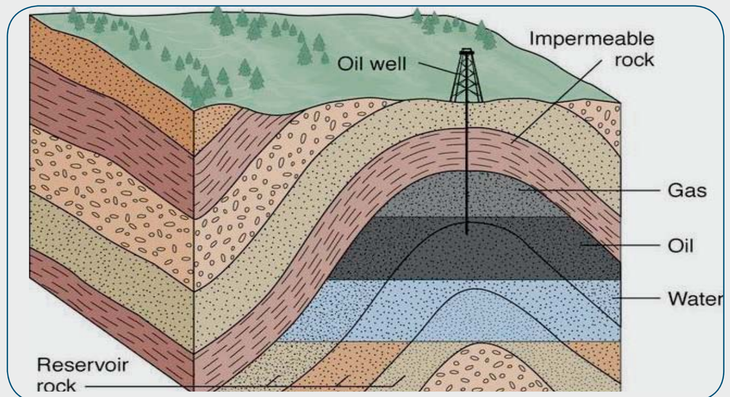
Owing to their low density and consequent buoyancy , the continental blocks are not forced down into the mantle in subduction zones but remain as permanent features of the lithospheric plates they are part of . The ocean floors, on the other hand, are continually being destroyed in such zones, as new ocean floors are deposited at midocean ridges.

17 ماذا تعرف عن *Gondwana* ؟

Gondwana is a district of India in which occurs a distinctive sequence of beds, including tillite (consolidated glacial debris) and coal deposits, laid down from about 400 million to 200 million years age. The same "Gondwana succession " of beds is found in South America, Australia, and Antarctica. An important feature of the Gondwana succession is the presence of certain plant fossils which are the same in beds of the same age throughout the southern hemisphere. Thus the geological and biological records point strongly to the existence of a single land mass, Gondwanaland, in the southern hemisphere in the distant past .

18 ما هو أصل البترول ؟

Petroleum is thought to have originated in the remains of marine animals and plant which accumulated sea floors where the water circulation is so slow that little oxygen is present. Bacterial decomposition of the organic matter left residues that consisted chiefly of carbon and hydrogen. There residues were buried under sediments and under the influence of heat and pressure became the lipoid and gaur by drocarbon compounds that constitute petroleum and natural gas respectively. The oil and gas migrated though porous beds until they either emerged at the surface or were trapped by an impermeable layer. Most petroleum and natural gas are found in Cenozoic and Mesozoic sandstones and carbonate rocks.





19 ماهي اهم التراكيب الجيولوجية للمصائد البترولية؟

About 80% of oil and natural gas deposits are found in anticline traps.. Since gas is lighter than oil and both are lighter than water. They are always found in the sequence from top to bottom. Fault and unconformity traps are still other types of traps are known.

20 اين ومتى تشكل العصر الجليدي ؟

The Ice Ages involved the formation of ice sheets that covered large areas of the earth's surface. Ice advanced across the continents during four major episodes, Which were separated by interglacial periods during which the ice retreated poleward. The Ice Ages took place during the past two million years, that is , in the Pleistocene epoch of the Quaternary period of the Cenozoic era. The most recent large –scale glaciation covered much of Canada and northeastern United Sates and began to recede only about 20,000 years ago. The origin of the world wide climatic changes that produced the Ice Ages is not known, though a number of possible mechanisms have been proposed.

21 لماذا تدور الأرض ؟

Gravitational forces in the earth and other large astronomical bodies are strong enough to prevent more than minor departures from sphericity. If a significant protuberance were to occur on the earth, the gravitational pull of the rest of the earth would lead to such overwhelming pressures on the underlying material in the earth's interior that it would flow out sideways until the protuberance became level or nearly level with the rest of the surface. Pressures under the margin of a large cavity would similarly cause the underlying material to flow into it > Such irregularities as mountains and ocean basins are on too small a scale to greatly distort the pressure balance in the interior.

22 ما هو الفرق بين القاطع والعرق ؟

A dike consists of molten rock that has intruded into a fissure and hardened there

A vein consists of material that has precipitated in a fissure from solution in ground water.





23 ماهي أغلب الصخور المتواجدة في (a) a batholith and (b) a dike ؟

(a) Because magma cools slowly in a batholith, coarse-grained igneous rocks such as granite, diorite, and gabbro are likely to be found .

(b) Magma may cool slowly or rapidly in a dike, depending on the circumstances. Hence both coarse-and fine-grained igneous rocks may be found; granite, diorite, gabbro, rhyolite, andesite, and basalt, for instance.

24 كيف تتحول الصخور النارية الى صخور رسوبية ؟

Igneous rocks are converted to sedimentary rocks by exertion of high temperature and high pressure , that changes it physical and chemical properties into a new one .

25 ما هي أنواع صهارة الماجما ؟

- Basaltic magma
- Andesitic magma
- Rhyolitic magma

26 ما هي القوى المسؤولة عن حركة الصفائح الأرضية ؟

The theory is the heat of nuclear decay in the mantle and core. The heat produced in the interior of the earth is thought to be the driving force behind plate tectonics. That heat creates convections currents that can be observed in volumes of air and liquid is a known fact. There is substantial evidence that heat is produced in the core and mantle of the earth. The theory is that the heat from the interior of the earth creates convection currents in the semi liquid mantle. These convection currents push new crust up from the mantle at the divergent boundaries. The new crust creates pressure pushing the plates at the divergent boundary apart. At other places called convergent boundaries the crust that is being pushed by the emergence of new crust is pushed together. The idea that convection currents created by the heat in the interior of the earth drives plate tectonics is well established.





27 ماهي علاقة البقع الساخنة بحركة الصفائح ؟

A moving tectonic plate over a hot spot will lead to over time a long chain of volcanoes. The best example for a hot spot is the hot spot in the Pacific Ocean, that hot spot that produces the long chain of volcanoes known as the Hawaiin islands. A hot spot as you may or may not already know is an area where lava rises from the earth to the surface. The lava cools down and forms a volcano. The hot spot itself never changes position, but the tectonic plates are constantly moving, so the volcano formed will «move» along with the tectonic plate to the direction where ever the tectonic plate is heading, but at the same time the hot spot doesn›t stop producing lava. When the tectonic plate moves, another volcano is formed, and over time as the tectonic plate moves, that volcano moves towards the direction that tectonic plate is moving, and the process repeats. That›s exactly what has been happening to the Hawaiin islands, and over time those formed volcanoes might descend deeper into the ocean until they are no longer islands.

28 كيف ينتقل الماء من الخزان الجوفي الى سطح الأرض؟

Same way hydrocarbons move from source rocks to reservoir rocks. water is a liquid so it can easily move through small openings. In the subsurface, these openings are known as «pores». The bigger the pores and the higher the connectivity of the pores, higher rate will be of the movement of water. If there is a reservoir of water or an aquifer in the subsurface, if there is enough pore connectivity, the water will move upwards. This water will then join in the river or streams flowing on the surface.

29 لماذا يزداد ضغط الماء بزيادة عمق الماء ؟

It is due to hydrostatic pressure. At sea level, air pressure is 14.5psi (pounds per square inch), but we don›t feel it because the fluids in our body apply the same force outward. However, when we go down under water more pressure is felt. This is due to increase in hydrostatic pressure, the pressure exerted by water on us. The deeper we go under water, the greater the pressure of the water on us pushing us down. This is as pressure depends on depth of liquid (here water), its density and gravity and for every 33 feet the pressure increases by 14.5psi.





30 ما هي أشكال التعرية المعروفة ؟

The four main forms of river erosion are:

- Hydraulic action - the force of the river against its banks that causes air to be trapped in cracks and crevices. The pressure weakens the banks and gradually wears it away.
- Abrasion - rocks carried along by the river wear down the river bed and banks.
- Attrition - rocks being carried by the river smash together and break into smaller, smoother and rounder particles.
- Solution - soluble particles are dissolved into the river.

31 ما هي العمليات الأرضية المسؤولة عن تشكل صهارة الماجما ومعدل تبريدها؟

Magmas form from melting within the Earth. There are three types of melting: decompression melting, where magmas form when hot rock from deep in the mantle rises to shallower depths without undergoing cooling (the decrease in pressure facilitates themelting process);flux melting, where melting occurs due to the addition of volatiles such as CO2 and H2O;and heat transfer melting, where melting results from the transfer of heat from a hotter material to a cooler one.

Partial meltingof rock yields magma that is more felsic (silicic) than the magma source because a higher proportion of chemicals needed to form felsic minerals diffuse into the melt at lower temperatures. The main factor that affects the cooling time of a magma is how fast heat transfers from the melt into its surroundings. The rate of heat transfer depends on the temperature of the environment in which cooling takes place, the shape and size of the molten mass, and the ability of the surroundings to extract heat.

32 كيف تتشكل الشعاب المرجانية ؟

Coral reefs are formed from what are the hard, limestone «skeletons» of coral. A brown algae living symbiotically with the coral help the coral to produce limestone.

33 لماذا باطن الأرض ساخن جدا ؟

The temperature of the earth›s core is so high mainly because «it contains radioactive materials which release heat as they break down into more stable substances.»





34	معظم الجبال الواقعة على سطح الأرض ناتجة عن عمليات ؟						
a	Doming	b	Faulting	c	***Folding***	d	Volcanic intrusion

35	أي من هذه الرواسب يمثل رواسب البحيرات ؟		
a	sands and talus	b	sands and gravels
c	Sands and clays	d	***Clays and silts***

36	نظرية الفرد واجنر للحركات الأرضية تعرف بـ		
a	Contraction Theory	b	***Continental drift Theory***
c	Convection Hypothesis	d	Theory of Gravitational sliding

37	الكربون المشع C14 يستخدم لقياس الأعمار في حدود الـ...؟		
a	100 years old	b	***5,000 years old***
c	500,000 years old	d	5,000,000 years old

38	العملية المسؤولة عن تكون الفحم ؟		
a	Decomposition	b	***Distillation***
c	Petrification	d	Replacement

39	يعبر عن قانون دارسي Darcy's law
a	The rate at which ice forms as the temperature is lowered
b	The determination of temperature-dew point spread
c	***The rate at which water moves through a rock***
d	The factors which determine a landslide





40	U 238 معدل نصف العمر لليورانيوم المشع 238 تقريبا ؟						
a	4.5	b	45	c	450	d	***4500***

41	الطريقة المثلى والأدق لتحديد عمر الصخور؟		
a	Index fossils	b	Rate of decomposition
c	***Radioactivity***	d	None of these

42	المد والجزر بسبب ؟		
a	***Gravitational attraction of sun and moon***	b	The wind
c	Periodic changes in atmospheric pressure	d	Diastrophic forces within the earth

43	تصنف الأرض على أنها...؟						
a	Star	b	Comet	c	Satellite	d	***Planet***

44	A horst عكس....؟						
a	***Graben***	b	Hogback	c	Synclinal ridge	d	Fault scarp

45	سيطر الديناصور في العصر ؟						
a	Cambrian	b	***Jurassic***	c	Permian	d	Carboniferous

46	تستخدم الخرائط الطبوغرافية ؟
a	only one contour interval for each map
b	***the changing of a contour interval in abrupt changes from plains areas to very mountainous areas***
c	no definite contour interval
d	depression contours to indicate submarine depths along shorelines



47	تتميز الأنهار الحديثة بـ ...؟		
a	natural levees	b	flood plains
c	slight meandering	d	***rapids***

48	سرعة دوران الأرض حول الشمس ؟		
a	***maximum at Perihelion***	b	minimum at Perihelion
c	maximum at Aphelion	d	equal at Aphelion and Perihelion

49	المتكون المائي الغير منفذ ولا يحتوي ولا يمرر الماء ؟						
a	Aquifer	b	***Aquiclude***	c	Aquifuge	d	Aquitard

50	Stromatolites تمثل ؟		
a	Green algae	b	***Organo-sedimentary structures***
c	Blue algae	d	Sedimentary structure

51	Sill عبارة عن ؟		
a	***Horizontal igneous intrusive***	b	Vertical igneous intrusive
c	Concave igneous pluton	d	None of the above

52	لا يستخدم في الاستكشاف الجيوكيميائي ؟		
a	Atomic Absorption Spectrophotometer	b	Emission Spectrograph
c	Flame photometer	d	***Optical microscope***





53	يطلق على الماء الذي تكون خلال فترة تصلب صهارة الماجما ؟

a	Connate water	b	Meteoric water	c	Vadose water	d	***Juvenile water***

54	الطريقة الاكثر مناسبة للكشف عن الخامات المعدنية العميقة ؟

a	Horizontal shafts	b	***Vertical shafts***
c	Inclined shafts	d	None of the above

55	ما هو الفرق بين Era & Period ؟

A period is known to be a long time wherein the characteristics are very obvious. The era is a long time that may become more evident because it is marked by an event. The period also comes from the Greek word "periodos." This means "cycle of time."Era does not come from a Greek word. Rather, this comes from the Latin word "aera," which means "counters used for calculation." There are a lot of people who use these two terms interchangeably, but most people would use era for longer time frames while period can sometimes be used for shorter time frames. For example, people use the term "period of time," which means a short time.

56	لا يستدل بها في نظرية الزحف القاري ؟

a	The bulge of South America fitting into the indent in Africa
b	Rock sequences in Scotland matching sequences in Canada
c	Similar fossil remains being found in South America and Southern Africa
d	***Volcanoes on the edges of existing plate boundaries***

57	كانت الكائنات الأكثر شيوعا خلال العصر الأوردفيشي ؟

Trilobites were a successful group of arthropods, counting over 15000 species, which populated the Paleozoic oceans for almost 300 million years. They are well known to paleontology because their hard shells were excellently preserved. Their name comes from the three lobes that make up their body: the axial lobe and the right and left pleural lobes.





58 ماذا تعرف عن محيط بانثالاسا Panthalassa ؟

The giant global ocean surrounding the supercontinent Pangea. The Panthalassic Ocean eventually became the Pacific Ocean.

59 ماذا يطلق على المنطقة غير المشبعة فوق مستوى الماء water-table ؟

Vadose zone. The vadose zone may still contain water, but is not completely saturated

60 خرائط تمثل سماكة الخزان المائي الجوفي ؟

Isopach. An isobar map shows air pressure, isohyet shows rainfall, an isobath shows ocean depth.

61 كم عمر الأرض ؟

The name of the earth came from the Old English ertha or eorthe, or the German version which is erde. Either way, it just means ground or soil. The age between 4.5 to 4.6 Billion Years. Even though the Earth is 4.5 to 4.6 billions years old. The oldest known rocks are about 4 billion years old and rocks older than 3 billion years are rare. The oldest fossils of living organisms are less than 3.9 billion years old.

62 يتألف الغلاف الجوي من ؟

Oxygen and nitrogen. While oxygen and hydrogen (H2O) do form water, they make up the oceans and rivers, not the atmosphere. There are other trace elements in Earth›s atmosphere

63 كم تبلغ قيمة معامل الصلابة للماء ؟

Water has no rigidity. Its shear strength is zero.Fluids do not carry shear waves. This knowledge, combined with earthquake observations, is what lead to the discovery that the earth's outer core is a liquid rather than a solid – "shear wave shadow





64	ماذا ينجم عن السحب الجائر بكميات هائلة من المياه الجوفية ؟
a	Formation of Karst topography
b	Formation of caves and sinkholes
c	Drawdown will cause salt water intrusion
d	***All of the above***

65	ما هو المصطلح المرادف لـ Water Table ؟		
a	Transition zone	b	***Piezometric surface***
c	Confining surface	d	Saturation point

66	ما هو المقصود بالـ Hard Water وكيف يمكن معالجته ؟

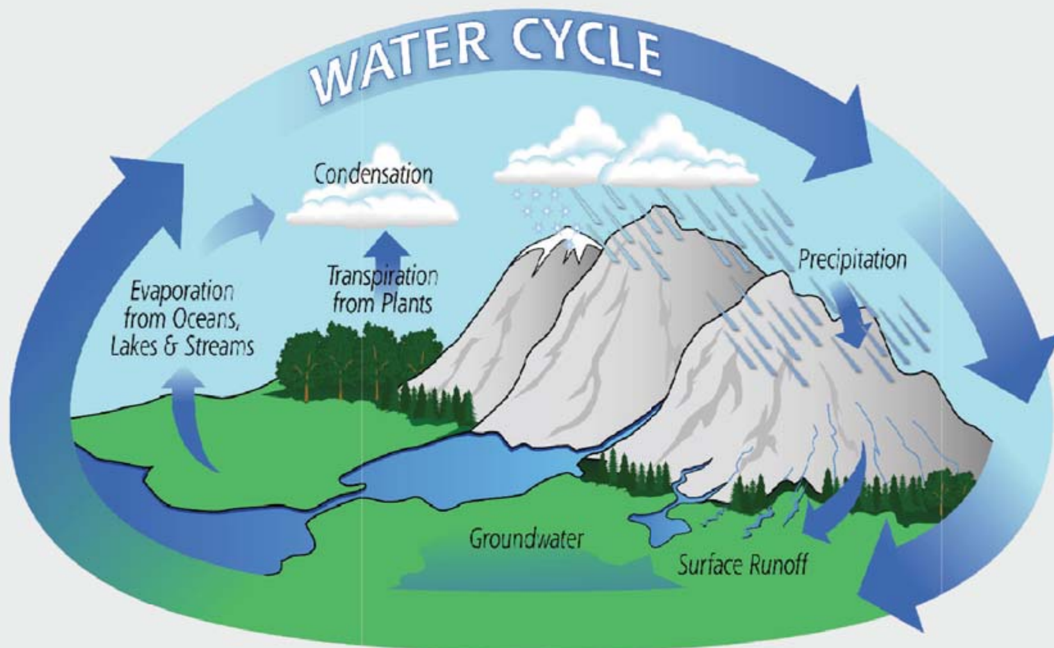
"Hard" water contains dissolved minerals which prevent soap from forming suds, react with soap to produce a precipitate, and form insoluble deposits in boilers. Calcium and magnesium ions are usually responsible for hard water. Groundwater often contains these ions through the solvent action of water containing dissolved CO_2 on rocks such as limestone. To soften water, the Ca^{++} and Mg^{++} ions must be removed, which can be done in a variety of ways. In one common method, hard water is passed through a column containing a mineral called zeolite, which absorbs Ca^{++} and Mg^{++} ions into its structure while releasing an equivalent number of Na^{++} Ions. Since Na^{+} ions do not affect soap, nor do sodium compounds precipitate out from hot water, the water is now soft.



67 اشرح بالتفصيل مراحل الدورة المائية ؟

Approximately 75% of Earth is covered by water, in the form of lakes and oceans, or ice. The water cycle, also known as the hydrologic cycle, describes how water continuously moves through Earth and the atmosphere. Throughout the cycle, water changes to be in the form of gas vapor, liquid, or solid ice. The water cycle has a large impact on the environment and ecosystems and is vital for life. The cycle also is a part of the overall system of weather.

The main steps in the water cycle include precipitation, runoff water, precipitation and transpiration, and condensation. When water is heated by the sun or by other factors, surface water evaporates and changes from liquid to vapor state. Similarly, transpiration is the evaporation/release of water from plants. Sublimation is the process of ice turning to vapor directly, without changing to a liquid state first. As water vapor rises to the atmosphere, it cools and begins to condense into clouds. Precipitation occurs when water falls from clouds, in the form of rain, snow, ice, etc. The liquid form eventually drains into oceans, lakes, and streams. It also gets absorbed into the soil, where it will move underground until it reaches a body of water, gets taken up by a plant or an animal, and/or it evaporates again.







68 اشرح قانون دارسي من منظور سريان المياه الجوفية

Darcy's law is a phenomenologically derived constitutive equation that describes the flow of a fluid through a porous medium. The law was formulated by Henry Darcy based on the results of experiments on the flow of water through beds of sand. It also forms the scientific basis of fluid permeability used in the earth sciences, particularly in hydrogeology. Darcy's law relates the pressure drop and the velocity in an unbounded porous medium. For the flows of a viscous Newtonian fluid at low speed through a porous medium, the pressure drop caused by the frictional drag is directly proportional to the velocity.

in 1856, a French hydraulic engineer named **Henry Darcy** published an equation for flow through a porous medium that today bears his name.

$Q = KA\,(h1-h2)/L$ or

$q = Q/A = -K\,dh/dl$, h: hydraulic head, $h = p/rg + z$

$q = Q/A$ is the *specific discharge* [L/T],

dh/dl is the *hydraulic gradient*

K is the *hydraulic conductivity* [L/T]

69 عرف المصطلحات المائية التالية

An ***aquifer*** is a saturated geological formation that contains and transmits «significant» quantities of water under normal field conditions (=> gravel, sand, volcanic and igneous rocks, limestone).

An ***aquiclude*** is a formation that may contain water but does not transmit significant quantities (clays and shales).

an aquitard is a formation with relatively low permeability.

***confined* and unconfined** (water-table) aquifers. An unconfined aquifer has a water table (water table aquifer). A confined aquifer does not have a water table. If you drill a well, water will rise (in the well) above the top of the aquifer.

perched groundwater is groundwater sitting on top of a poorly permeable layer with an unconfined aquifer underneath.

The height to which water rises in a well defines is known as the ***piezometric or potentiometric surface***.



70	أي من هذه المجموعات المعدنية الأكثر شيوعا في قشرة الأرض ؟
a	Oxygen , nitrogen , hydrogen , iron
b	Nitrogen , iron , sodium , oxygen
c	Potassium , silicon , aluminum , iron
d	***Oxygen , silicon , aluminum , iron***

71	تتواجد الـ Laccoliths ؟		
a	***Domed mountains***	b	Block mountains
c	Folded mountains	d	Volcanoes

72	أقدم المعادن الموجودة على سطح الارض ؟		
a	Calcite	b	Quartz
c	Tourmaline	d	***Zircon***

73	من أشكال Exfoliation ؟		
a	***Physical weathering***	b	Chemical weathering
c	Biochemical weathering	d	Mass wasting

74	من المجاميع التي تحتوي على صخور متحولة فقط ؟
a	basalt, diorite, dolomite, shale
b	conglomerate, granite, serpentine, marble
c	diabase, schist, obsidian, serpentine
d	***quartzite, gneiss, slate, marble***





75	من اكثر المعادن مقاومة للتجوية ؟						
a	***quartz***	b	calcite	c	hornblende	d	orthoclase

76	تنص نظرية وارنر على Werner's Theory ؟
a	basalt originated by volcanic action
b	***all rocks of the earth were precipitated from a universal ocean***
c	dense, fine-grained basalt was associated with scoria
d	fused basalt produces a glassy rock

77	أفضل مثال للتجوية الفيزيائية ..... ؟
a	***. the bed of sedimentary rock at the lowest level must be the oldest***
b	the bed of sedimentary rock at the lowest level must be the youngest
c	the beds of sedimentary rocks do not follow an orderly succession toward the top
d	the correlation of sedimentary rocks can be well utilized

78	المفهوم الاصح هو ؟
a	Strength of a rock decreases with increase in confining pressure.
b	Strength of a rock increases with increase in temperature.
c	***Strength of a rock increases with increase in temperature.***
d	Strength of a rock increases with increase in pore water pressure



79 Sandstone, siltstone, shale. The three rocks are all made up of very, very small sediments. What is the name of the process which takes these compacted sediments and solidifies them together?

It is called diagenesis. Diagenesis occurs in several stages. First, compaction happens as the particles are pressed together by the increasing weight of what is above.

80 Hail is a type of precipitation that consists of

a	Ice crystals of delicate, feathery structure
b	***Hard pallets of ice***
c	Droplets of water deposited on objects near the ground
d	Minute crystals of ice deposited on a cold surface

81 ماهي التجمعات المعدنية ؟

The minerals in a particular rock. A mineral assemblage refers to what minerals are in a particular rock that you›re looking at. For example, A typical granite has a mineral assemblage of: Quartz + Feldspar + biotite mica +/- minor accessory minerals
A typical basalt has a mineral assemblage of: Olivine + plagioclase + pyroxene +/- minor accessory minerals

82 على أي نظام يتم تصنيف المعادن ؟

Minerals are most commonly classified by the Dana system. Minerals are classified by their hardness, specific gravity, color, luster, streak, cleavage and crystal form. Dana system of classification contains 78 different classes of minerals based on composition and then further classified by type and group. To test whether something is a mineral, there are several identification tests to which the substance is subjected, including its resistance to scratching, its density in comparison to water, its color, the degree of light it reflects, the color of the powdered mineral, its breakage pattern and its crystalline form. There are over 4,900 different types of minerals known in the world





83 ماهي اهم معادن الكربونات ؟

The chief carbonate minerals are calcite, aragonite, and dolomite, Calcite and aragonite are both composed of calcium carbonate, CaCo , but have different crystal structures Dolomite is similar to calcite but contains magnesium as well as calcium; its composition is usually represented as CaMg(Co) although the proportion of Ca may vary.

84 ماهي اكثر الصخور الرسوبية شيوعا وكيف تشكلت ؟

In order of abundance, shale, sandstone, and limestone. Shale is formed from clay, sandstone from sand grains, and limestone from shell fragments or as a chemical precipitate.

85 اعطا امثلة للصخور المتحولة المتورقة والغيرمتورقة ؟

Foliated: slate, schist. Gneiss.
Nonfoliated: marble. quartzite, hornfels.

86 علل لماذا صخور النايس الأكثر شيوعا في الصخور المتحولة ؟

Gneiss is abundant because it can be formed from a wide variety of sedimentary, igneous. and other metamorphic rocks. It is coarse-grained, foliated, and often consists of layers of different mineral composition which lead to a banded appearance larger in scale than the foliation.

87 ما هو الفرق بين الكوارتز والكوارتزيت ؟

Quartz is a mineral whose chemical composition is SiO2. Quartzite is a hard rock formed by the metamorphism of sandstone; it consists largely of quartz with micas, feldspars, and garnet also present.



88 ماهي العلاقة بين التجوية الكيميائية والميكانيكية ؟

By breaking exposed rock into small fragments, mechanical weathering increases the surface area of a given volume of rock and so promotes the rate at which chemical weathering occurs. Chemical weathering can also lead to mechanical weathering, since many minerals in which they are incorporated.

89 Why is it difficult to date clastic sedimentary rocks by radiometric methods?

A clastic sedimentary rock consists of fragments of that rocks that have become cemented together. The parent rocks may have been of very different ages since erosional debris is commonly transported for some distance from its origin to the place of deposition . Since the age of a sedimentary rock refers to the time it became lithified. The only relationship between the age of the rock and the ages of the fragments of which it is composed is that the rock is younger than the fragments; but it is seldom possible to say how much younger. Only in a few cases does the cementing material contain sufficient potassium to permit its dating by the potassium argon method.

90 Why is the potassium-argon method more generally useful than the other radiometric methods?

The half-life of rubidium 87 is 47 billion years, so the rubidium-strontium method can only be used to date extremely old rocks. Potassium 40 has the more suitable half-life of 1.3 billion years and is a much more widespread constituent of minerals than uranium. Such common minerals as the micas, the feldspars, and hornblende all contain sufficient potassium to permit their dating by the potassium-argon method.





91	Which of the following is the most accurate explanation for the occurrence of minerals such as gold, platinum, and native copper in concentrated placer deposits in alluvial sands and gravels?
a	These minerals are more resistant to chemical weathering than the surrounding matrix and are left behind when natural acids in streams erode the matrix away.
b	These minerals commonly occur as smaller grains than most other minerals and are carried farther by flowing water before settling to the bottom of the stream.
c	These minerals are characterized by irregularly shaped grains that tend to interlock and form a large mass that resists displacement by moving water.
d	***These minerals have a higher specific gravity than most other minerals and are deposited more quickly than particles of similar size when stream velocity decreases.***

92	Of the following ratios, the one which would NOT be useful as the basis for a method for dating igneous rocks over 1,000,000 years old is :		
a	Uranium ^{238} / Lead ^{206}	b	Rubidium ^{87} / Strontium ^{87}
c	***Carbon ^{14} / Carbon ^{12}***	d	Potassium ^{40} / Argon ^{40}

93	What is the mineral which contains a metallic element which can be economically exploited called?						
a	***Ore mineral***	b	Metallic mineral	c	Eco-ore	d	Eco-mineral

94	The deposits that have formed simultaneously with the enclosing rock are called						
a	***Syngenetic***	b	Epigenetic	c	Syncgenetic	d	Sinclogenetic

95	Deposits that were formed subsequent to the formation of the host rocks are						
a	Syngenetic	b	***Epigenetic***	c	Syncgenetic	d	Sinclogenetic



96 What are the estimated temperatures and depths ranges of hydrothermal ore

Epithermal 50200- oC, typically in depths < 1500 m
Mesothermal 200400- oC , 15004500- m
Hypothermal 400600- oC , >4500 m

97 Classify Pegmatite deposits?

Pegmatite deposits are sometimes classified as a distinct group of magmatic deposits formed towards the end of crystallization process and such necessarily occurring close to the roofs of magmatic masses.

98 What is Syngenetic deposits ?

Syngenetic deposits are such deposits that have formed simultaneously with the enclosing rock. These are either of igneous or of sedimentary types.

99 Name three logs that would probably reveal the presence of shale?

SP (low value between higher ones), natural alpha ray (high reading), caliper (wide diameter)

100 How are water saturation and hydrocarbon saturation related ?

Sw = (1 – Shc)

101 Maximums energy released from earthquakes are highest in

a	***Surface Eqs.***	b	Intermediate Eqs.	c	Deep Eqs.	d	Eq. Swarms





102 What is the difference between GPR and EM methods?

For GPR, wavelengths were very short (often less than one meter)\n–For other EM methods, wavelengths are very long:\n –consider 10kHz waves, V=3x108¬m/s\n –Wavelength= 30km\n–Wavelength is so much larger than the survey area that we consider it a constant source spatially and only consider time–varying properties of the field. Very different from GPR

103 What are the advantages and disadvantages of e-m surveying compared to resistivity surveying for ground surveying.

EM but not resistivity operates when the surface layer is very resistive. Conversely, it is has less penetration if the surface layer is very conductive:; resistivity gives more precise location of bodies; e-m is usually easier to use as electrodes do not have to be moved.

104 What factors limit the vertical resolution of a GPR survey ?

Need high frequency for high resolution, but higher frequencies are more rapidly attenuated by conductive overburden, so may need to decrease frequency to get required penetration.

105 Give two general reasons why geophysical logging would still be needed in hydrocarbon exploration even if complete cores were available.

Boreholes only sample locally; core samples may be altered by the drilling, e.g., loss of original fluids; some formations may not be sampled at all due to wash out. This is in addition that core samples are expensive.





105 سؤال وجواب في (الجيـوفيزياء)

1 ما هو علم الجيوفيزياء ؟

Geophysics is a branch of earth sciences investigating the physical processes and phenomena occurring in the earth by combining physics, mathematics and geology. Specifically, some of the areas geophysical engineering deals with are:

- Exploration of coal, oil, gas and geothermal energy resources as well as groundwater and mineral deposits,
- Assessment of earthquake hazards such as strong ground shaking, landslides and liquefaction,
- Investigation of subsurface for engineering structures,
- Investigation of archeological sites and
- Imaging of the subsurface for environmental hazards

2 باختصار تشمل تطبيقات الطرق الجيوفيزيائية ؟

Plate Tectonics and Earthquake investigations
Investigation of geological structures by using land and marine seismic methods
Defining the Earth›s magnetic field at geological times
Investigation of natural resources
Environmental Geophysics
Archaeogeophysical investigations
Atmosphere and space investigations
Geothermal investigations

3 نظام الإجهاد والانفعال لأى جسم ما في حالة عدم الاتزان يتكون من ؟

a	**81 مركبة**	b	36 مركبة	c	9 مركبات	d	18 مركبة





4	إذا بلغت قيمة بوايسون 0.40 فهذا يعني أن مقاومة الصخر للقص :
a	عالية
b	عالية جدًا
c	متوسطة
d	**منخفضة**

5	يتناسب الإجهاد طرديًا مع الانفعال في حالة الأجسام المرنة تمامًا :
a	**قانون هوك**
b	معامل الصلابة
c	معامل يونج
d	نسبة بوايسون

6	التغير في الحجم إلى الحجم الأصلي قبل التشوه ؟
a	***Dilatation***
b	معامل الانضغاطية
c	معامل الصلابة
d	بوايسون

7	التغير في الشكل الهندسي للجسم المرن ؟
a	Dilatation
b	***Poisson***
c	Rigidity
d	Compressibility

8	موجات لوف من الموجات ؟
a	الأولية
b	القصيرة
c	**السطحية**
d	الأولية والقصيرة

9	تتناسب السرع السيزمية عكسيًا مع ؟
a	العمق
b	العمر
c	**المسامية**
d	الضغط

10	تتميز بخاصية الاستقطابية وتغير النمط :
a	**موجات القص**
b	الموجات الطولية
c	موجات ريلي
d	موجات لوف

11	هذا النوع من الموجات تتشتت دائمًا ؟
a	موجات ريلي
b	**موجات لوف**
c	الموجات الطولية
d	موجات القص

12	كل نقطة على مقدمة الموجة يمكن اعتبارها مصدر لمقدمة موجة أخرى ؟
a	مبدأ فيرمات
b	**هايجن**
c	هوك
d	سنيل





13	يحصل الانكسار السيزمي إذا ؟						
a	***$V_2 > V_1$***	b	$V_2 = V_1$	c	$V_2 < V_1$	d	$V_2 = 0$

14	تتناسب السرعة طرديًا مع زيادة ؟						
a	درجة الحرارة	b	النفاذية	c	المسامية	d	**العمر**

15	أي من هذه الأشكال ليست من أنواع CDP ؟						
a	CMP	b	COP	c	CSP	d	***CGP***

16	يمكن التخلص من الانعكاس المتعدد Multiples بواسطة ؟		
a	Convolution	b	***Deconvolution***
c	Static correction	d	DMO

17	يقع مركز الأرض على عمق ؟						
a	3671 كم	b	7631 كم	c	**6371 كم**	d	7361 كم

18	الزلازل التي تقع وسط الصفيحة يطلق عليها ؟		
a	***Intra plate***	b	Inter plate
c	Intra plate	d	Middle plate

19	مقياس كمي لوغاريتمي عشري ليس له حد أدنى ولا أعلى اشتق من سعة الحركة الأرضية ؟						
a	**مقياس ريختر**	b	مقياس مير كالي	c	مقياس الطاقة	d	

20	الزلزال الذي قدره 6 يطلق طاقة أكبر من زلزال قدره 4 بمقدار ؟						
a	30 مرة	b	60 مرة	c	**900 مرة**	d	10 مرات





21 لحساب التغيرات في المقاومية الكهربائية مع العمق نستخدم طريقة ؟

a	***VES***	b	HEP	c	Wenner	d	Schlumberger

22 تقل المقاومية الكهربائية مع زيادة ؟

a	**الملوحة**	b	العمر	c	الضغط	d	درجة الصلابة

23 النسبة ما بين المقاومية الفعالة للصخر إلى مقاومية الماء في الفراغات ب :

a	قانون Archie	b	**معامل المتكون**	c	نسبة المسامية	d	النفاذية

24 لدراسة الجسات العميقة نستخدم ترتيب :

a	Wenner	b	Schlumberger
c	***Dipole – Dipole***	d	Pole- Pole

25 يتولد المجال المغناطيسي الخارجي في ؟

a	اللب الخارجي للأرض	b	**الغلاف الأيوني**	c	قشرة الأرض	d	المعادن المغناطيسية

26 وحدة الـ nano tesla (nT) تعادل ؟

a	1 **جاما**	b	1 أورستيد	c	1000/1 جاما	d	100000/1 أورستيد

27 معادن الكوارتز من المعادن ذات التمغنط ؟

a	Antiferri magnetic	b	Ferri magnetic
c	Para magnetic	d	***Dia magnetic***

28 التغيرات المغناطيسية في الميل والإنحراف المغناطيسي مع الزمن يطلق عليها ؟

a	Secular	b	Diurnal
c	Lunar	d	***Magnetic storms***





29 المجال المغناطيسي الكلي عند الأقطاب يعادل ؟

a	b	c	d
30.000 nT	**60.000 nT**	0	2 nT

30 1 جال يعادل ؟

a	b	c	d
1 سم/ث²	م/ث²	10^6 مليجال	ميكروجال

31 قيمة الجاذبية المحسوبة عند الأقطاب ؟

a	b	c	d
983 جال	978 جال	980 جال	985 جال

32 تبلغ أقصى قيمة لقوة الطرد المركزية عند ؟

a	b	c	d
خط الاستواء	القطب الشمالي	القطب الجنوبي	ثابتة

33 العلاقة بين إتجاهات السطح والجاذبية وقوى الطرد والتجاذب تعرف بـ :

a	b	c	d
الجيوئد	الجاذبية النظرية	الجاذبية المحسوبة	التوازن الأيزو ستاتيكي

34 الطرق الجيوفيزيائية الأنسب للكشف عن

الذهب	الجاذبية
القبب الملحية (البترول)	الانعكاس السيزمي
رواسب الحديد	المغناطيسية
البترول المتواجد في الصخور المعقدة تركيبيا	الكهرومغناطيسية Magnetotelluric (MT)
الحد الفاصل بين المياه المالحة والعذبة	المقطع الكهربائي الأفقي HEP

35 معدل شاذة بوجير فوق المناطق الجبلية :

a	b	c	d
موجبة	**سالبة**	صفر	غير معروف



36 كلما كان ارتفاع الجبال عاليًا كلما كان عمق الجذور كبيرًا بغض النظر عن فرق الكثافة:

a	نظرية بـرات	b	**نظرية أيـري**	c	نظرية ماكينزي	d	

37 المستوى الذي تتوازن فيه كل التأثيرات رغم اختلاف كثافة المتكونات فوق هذا المستوى:

a	**110 كم**	b	50 كم	c	10 كم	d	الجيوئد

38 ماهي الطرق الجيوفيزيائية الأنسب للكشف عن

مستوى الماء العميق	الكهرومغناطيسية TDEM
الجيوئد Geoid	الجاذبية
إنقطاع Moho	الانكسار السيزمي
سماكة الطبقات الرسوبية	الانعكاسوالانكسار السيزمي
مستوى الماء الضحل والمتوسط العمق	المقطع الكهربائي العمودي VES
خامات الكبريتيدات المبعثرة Disseminated sulfides	الإستقطابية المستحثة Induced Polarization (IP)

39 ماهي الخاصية الفيزيائية المصاحبة للطرق الجيوفيزيائية ؟

الطريقة الجيوفيزيائية	الخاصية الفيزيائية
الجاذبية	الكثافة
المغناطيسية	القابلية المغناطيسية
السيزمية	السرعة السيزمية
المقاومية الكهربائية	المقاومة النوعية
الجهد الذاتي (التلقائي) SP	فرق الجهد الطبيعي
الاستقطاب المستحث IP	المقاومة النوعية، السعة الكهربية
الكهرومغناطيسية	التوصيل الكهربي، الحث الكهربي
الإشعاعية	إشعاع جاما
رادار الاختراق الأرضي GPR	سماحية العزل الكهربي، التوصيل الكهربي





40	أمكن التعرف على سماكة القشرة الأرضية من خلال دراسة .... ؟
a	radioactive dating of sedimentary rocks
b	the rate of submergence and emergence of shorelines
c	the variation in depths of the world's oceans
d	***seismic waves, both natural and man-made***

41	حسب نظرية التوازن الايزوستاتيكي Isostacy ؟
a	land masses is greater than that of ocean basins
b	mountain masses is greater than that of surrounding plains
c	***land masses is smaller than that of ocean basins***
d	land masses is the same as that of ocean basins

42 هل شدة واتجاه المجال المغناطيسي الأرضي ثابتة عند أي مكان؟

The geomagnetic field varies in both direction and strength. In the past century, for instance, the average field strength has decreased by about 6%. Local changes in direction of a degree or so per year are common. The most striking changes have been reversals in the field direction, so that the geomagnetic north and south poles become exchanged. Evidence from magnetized rocks that have hardened at different times suggests that in the past 76 million years 171 field reversals have occurred. Such reversals apparently involve a decrease in the field strength to zero over a period of thousands of years, followed by the buildup of the field with the opposite polarity.

43 ما هو العامل الرئيسي في تحديد لزوجة الوشاح ؟

The greater the silicon content of a magma, the higher its viscosity and the less readily it flows. Highly viscous lavas usually produce steep conical mountains and, in general, a rugged landscape; less viscous lavas spread out to produce more even landscapes. Temperature affects viscosity because heat causes chemical bonds tobreak more easily. Therefore, a hotter lava of a given composition is less viscous than a cooler lava of the same composition. Magmas and lavas with higher viscosity are stickier and flow less smoothly.



44 كيف يؤدي الثوران البركاني الى حدوث نشاط زلزالي ؟

Earth Structure. Volcanic eruptions are caused when magma forces out of an opening in the Earth Crust and becomes lava on coming out of the opening of the Volcano . When magma forces out of the hole , then it causes a relative motion of the earth tectonic plates or lithospheric plates. If this movement is caused in a vigorous manner , then it creates a tension force within the tectonic plates . After this tension force is released it leads to Earthquake.

45 معظم الزلازل ناتجة عن .....؟

a	are of the deep focus type
b	***are the result of sudden earth movements***
c	originate along the margins of the Atlantic Ocean basin
d	are associated with violent volcanic eruptions

46 انقطاع موهو يمثل الحد الفاصل بين ؟

a	Core and the mantle	b	Inner core and outer core
c	Lithosphere and hydrosphere	d	***Mantle and crust***

47 تستخدم لتحديد بعد الزلزال عن مركز الزلزال السطحي ؟

a	Intensity of P and S waves	b	Time of arrival of P and L waves
c	***Time of arrival of P and S waves***	d	Intensity of S and L waves

48 قوة الجاذبية على سطح الأرض ؟

a	. Constant all over
b	Greatest at the equator
c	***Greatest at the Poles***
d	Greater on a mountain top than at sea level





49 قارن بين القدر الزلزالي والشدة الزلزالية ؟

The magnitude of an earthquake is a measure of the maximum amplitude of its vibrations and is based upon seismograph records. Magnitude of an earthquake depends only upon the energy it releases. Each step of 1 on the Richter scale represents a change in vibrational amplitude of a factor of 9 and a change in energy release of a factor of about 30; thus an earthquake of magnitude 5 produces vibrations 10 times larger.

The intensity of an earthquake is a measure of the disturbance it produces in a particular locality, based on the destruction it causes and on the sensations experienced by people there. The intensity of an earthquake is greatest near the epicenter and decreases with distance; The Marcella scale, in the modification in current use, has twelve degrees of earthquake intensity which are designated by roman numerals to avoid confusion with earthquake

50 أي من التتابعات الموجية تصل أولا الى محطة الرصد ؟

a	P , L and S	b	L , S and P	c	***P , S and L***	d	L , P and S

51 الموجات الزلزالية القصيرة (المستعرضة) ؟

a	Travel faster than primary waves	b	Are longitudinal waves
c	***Cannot pass through the earth's core***	d	Are not recorded by the seismograph

52 ناتج عن Tsunami التسونامي

a	***Earthquakes***	b	Hurricanes
c	Tornadoes	d	Violent thunderstorms

53 الحد الأدنى من المحطات لتحديد موقع الزلزال of ؟

a	one	b	two	c	***three***	d	four

54 تتواجد البراكين النشطة غالبا في ؟

a	dissected plateaus	b	peneplanes
c	***young mountains***	d	lacustrine plains



55	أي من هذه الصخور يعطي أعلى قابلية للتمغنط ؟ susceptibility value						
a	***Gabbro***	b	Marble	c	Orthoquartzite	d	Limestone

56	شدة المجال المغناطيسي الكلي أضعف ما يمكن عند ؟		
a	***0º latitude***	b	30º N – 30º S latitude
c	90º latitude	d	60º N – 60º S latitude

57	سرعة الموجات الطولية (الأولية) اعلى ما يمكن في ؟						
a	Air	b	Water	c	Sand	d	***Granite***

58 You have a rock with a volume of 15cm3 and a mass of 45 g. What is its density?

Density is mass divided by volume, so that the density is 45 g divided by 15cm3, which is 3.0 g/cm3. ***Density = 45 / 15 = 3 g /cc.***

59 You have a sample of granite with density 2.8 g/cm3. The density of water is 1.0 g/cm3. What is the specific gravity of your granite?

Specific gravity is the density of the substance divided by the density of water, so ***S.G = 2.8***

60 ماهي مكونات لب الأرض و خواصه الكيميائية والزلزالية ؟

Nickel and iron. Earth›s radius measured at the equator is 6378 km, while at the poles it›s 6356 km. The internal structure of our planet was discovered by analyzing the compression (P) and shear (S) waves that pass through the Earth after earthquakes. The core is the part of the planet which starts at 2900 km and runs all the way down to the center. The core includes the outer core (29005000-km), a liquid molten core of nickel and iron, a transition zone (50005200- km) and the inner core (5200-km), a solid core made up of the same two metals. The three parts of the core are delimited by two discontinuities, Lehmann (5000 km) and Oldham-Gutenberg (5200 km). The core›s density is 812- g/cubic cm.





61 ماذا تعرف عن الغلاف الوهن Asthenosphere ؟

It enables plate tectonic movements. The asthenosphere is the upper part of the mantle. This viscous and soft layer supports the earth›s crust, which consists of plates with different weights. These dip into the asthenosphere more or less until they find a relatively static poise (isostatic equilibrium). Because of the fluidity and the varied temperatures, convection currents form in the asthenosphere. These currents transfer magma between the upper and lower asthenosphere. Some of the hot magma elevated form the interior can penetrate the cracks of the crust, thus giving birth to volcanic lava. The name of this region comes from the Greek «asthenia» meaning weakness.

62 ما هو الغلاف الصخري الصلب Lithosphere ؟

The lithosphere is the outer layer of the earth, including the crust the uppermost layer of mantle (50300- km thick). Unlike the asthenosphere, which flows just beneath it, the lithosphere is solid and responds to stresses in consequence. The lithosphere is fragmented into plates, whose independent movements are known as plate tectonics. They stand behind the forming of mountain ranges and are the cause of earthquakes.

63 يتواجد في كل من الصفائح القارية والمحيطية ؟

a	Granite	b	Aluminum	c	All of these	d	***Silicon***

64 مما تتكون منه القشرة الأرضية وعلاقتها بانقطاع موهو ؟

Mohorovicic. The crust is the «shell» of the planet. The border with the mantle is marked by the Mohorovicic (Moho) discontinuity. The crust is about 2080- km thick in continental regions while only 510- km in oceanic regions. Its density is about 3 g/cubic cm. Depending on the predominant rocks, the structure of the crust is characterized by three different layers: basaltic (oceanic), granite(continental) and sedimentary. The basaltic layer is found both under the continents and in the ocean floor. The granite layer is mostly found in the continents and generally not the ocean floor. The sedimentary cover (strati-sphere) is made up of the materials proceeding from the erosion of preexisting rocks by the external agents (water, wind etc); it is 0-km thick. The sedimentary rocks make up only 5% of the crust's total volume, but they cover 75% of the earth's surface.



65	لا تنتشر الموجات القصيرة في ؟						
a	Inner core	b	***Outer core***	c	mantle	d	Crust

66	تقريبا 80% من الطاقة الزلزالية في ؟						
a	***Pacific belt***	b	Alpide belt	c	Atlantic	d	Intraplate

67	وحدة قياس الجاذبية الأرضية ؟						
a	***Milligal***	b	nanoTesla	c	gamma	d	gram/cc

68 تصنف الطرق الجيوفيزيائية حسب نوعية المصدر الى ؟

Passive methods (Natural Sources): Incorporate measurements of natural occurring fields or properties of the earth. Ex. SP, Magnetotelluric (MT), Telluric, Gravity, Magnetic.

Active Methods (Induced Sources) : A signal is injected into the earth and then measure how the earth respond to the signal. Ex. DC. Resistivity, Seismic Refraction, IP, EM, Mise-A-LA-Masse, GPR.

69 ماهي العوامل التي تتحكم في قيم المقاومية الأرضية ؟

Geologic Age, Salinity, Free-ion content of the connate water, Interconnection of the pore spaces (Permeability), Temperature, Porosity, Pressure, Depth.

70 لماذا سرعة الموجات الأولية دائما أكبر من سرعة الموجات القصيرة ؟

$$\frac{Vp^2}{Vs^2} = \frac{\dfrac{K + \dfrac{4\mu}{3}}{\rho}}{\dfrac{\mu}{\rho}} = \frac{K}{\mu} + \frac{4}{3}$$

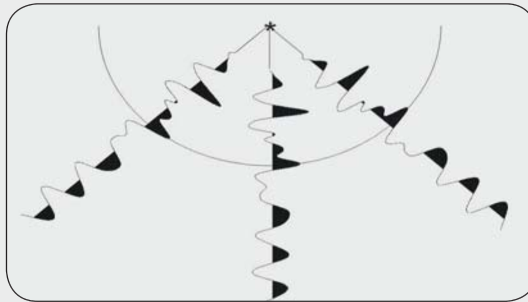
K and μ are always positive numbers, so Vp is always greater than Vs.





71 عرف مقدمة الموجة wave front ؟

Surface of constant phase, like ripples on a pond, but in three dimensions

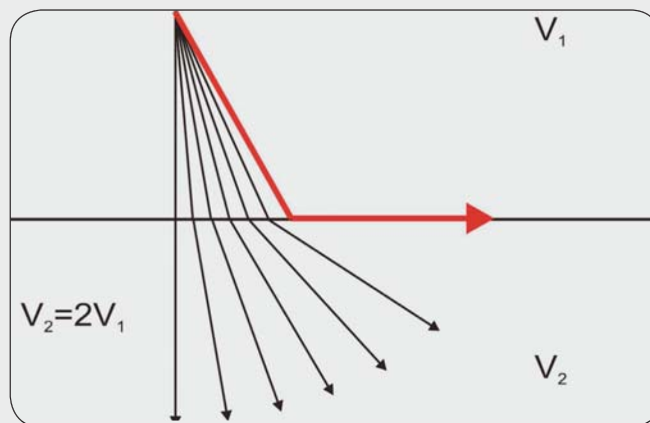


72 ما هو الانكسار الحرج ؟

At Critical Angle of incidence ic, angle of refractionr = 90o

$$i_c = \sin^{-1}\frac{V_1}{V_2}$$

Seismic refraction makes use of critically refracted, first-arrival energy only. The rest of the wave form is ignored.





73 ماهي العوامل التي تتحكم في التوصيلية الكهربائية للصخور ؟

Porosity (connected/effective - fractures or pores, Pore saturation (% air or gas) Hydrocarbon Fluid Saturation , Water salinity (TDS), Clay Content, Metallic Sulfide, Mineral Content, Fluid temperature, Rock Matrix intrinsic resistivity

74 ماهي أوجه التشابه بين طريقتي المغناطيسية والجاذبية الأرضية ؟

- Geophysical exploration techniques that employ both gravity and magnetics are passive (measure a naturally occurring field of the earth.
- Collectively, the gravity and magnetic methods are often referred to as potential methods.
- Identical physical and mathematical representations can be used to understand magnetic and gravitational forces. For example, the fundamental element used to define the gravitational force is the point mass and the fundamental magnetic element is called a magnetic monopole.
- The acquisition, reduction, and interpretation of gravity and magnetic observations are very similar.
- Both gravity and magnetic vary in time and space and used as reconnaissance tools in exploration.

75 ماهي الخواص الأساسية للموجات الطولية (الأولية) ؟

- Primary or compressional (P) waves
- The first kind of body wave is the P wave or primary wave. This is the fastest kind of seismic wave.
- The P wave can move through solid rock and fluids, like water or the liquid layers of the earth.
- It pushes and pulls the rock it moves through just like sound waves push and pull the air.
- Highest velocity (6 km/sec in the crust)





76 ماهي أوجه الاختلاف بين طريقتي المغناطيسية والجاذبية الأرضية ؟

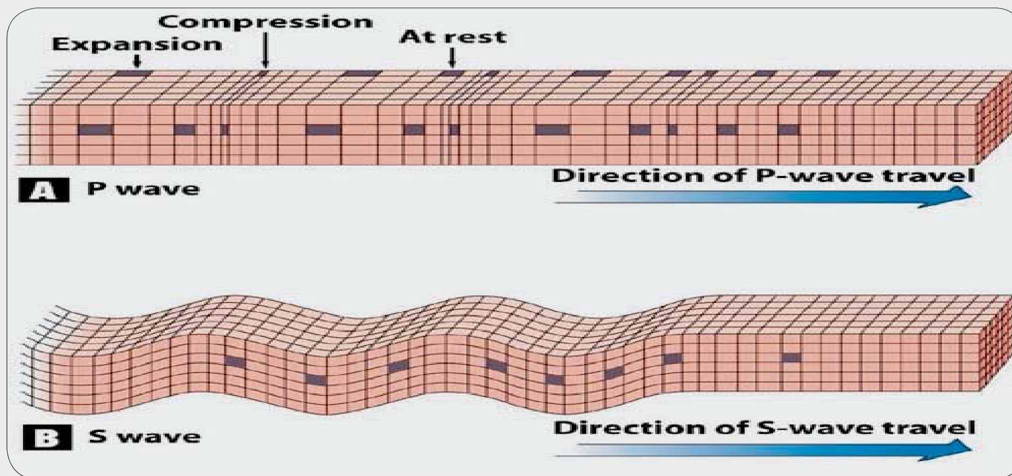
The fundamental parameter that controls gravity variations is rock density and the fundamental parameter controlling the magnetic field variations is magnetic susceptibility.

- Unlike the gravitational force, which is always attractive, the magnetic force can be either attractive or repulsive.
- Unlike the gravitational case, single magnetic point sources (monopoles) can never be found alone in the magnetic case. Rather, monopoles always occur in pairs. A pair of magnetic monopoles, referred to as a dipole, always consists of one positive monopole and one negative monopole.
- A properly reduced gravitational field is always generated by subsurface variations in rock density. A properly reduced magnetic field, however, can have as its origin at least two possible sources. It can be produced via an induced magnetization, or it can be produced via a remnant magnetization.
- Unlike the gravitational field, which does not change significantly with time**, the magnetic field is highly time dependent.
- gravity requires 0.1 ppm accuracy, magnetic > 10 ppm
- gravimeter is relative instrument; magnetometer is absolute
- densities vary from 1 to 4; susceptibility over several orders of magnitude
- gravity anomalies smooth, regional; magnetic anomalies sharp, local
- tides are only external gravity effect, can be corrected. Effect of magnetic storms cannot be removed.
- gravity corrections: drift, latitude, free air, Bouguer, terrain, etc.; magnetic corrections: ± drift, IGRF
- gravity surveys slow, expensive; magnetic costs about 110/ of g



77 ماهي الخواص الأساسية للموجات القصيرة (الثانوية)؟

- Secondary or shear (S) waves
- The second type of body wave is the S wave or secondary wave, which is the second wave you feel in an earthquake.
- An S wave is slower than a P wave and can only move through solid rock. (3.6 km/sec in the crust)
- This wave moves rock up and down, or side-to-side.



$\nu = 0$ for a perfect fluid, so S-waves cannot propagate through fluids. Poisson's ratio is theoretically bounded between 0 and 0.5 and for most rocks lies around 0.25, so typically VP/VS is about 1.7





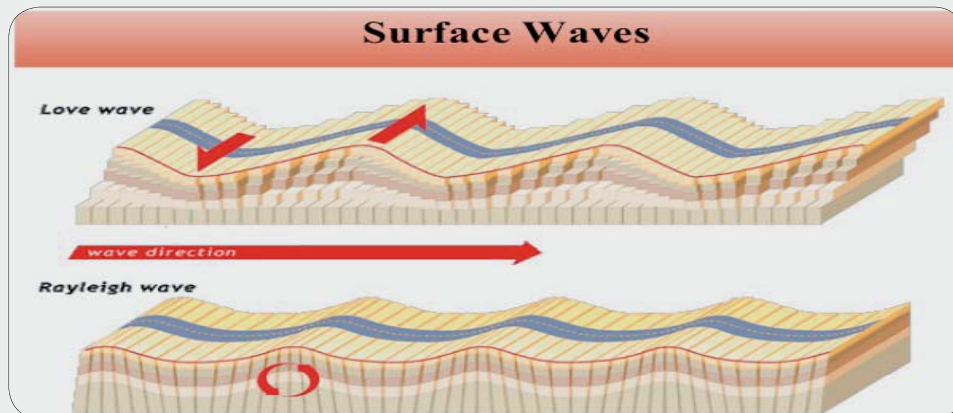
78 ماهي الخواص الأساسية للموجات السطحية ؟

Love Waves. The first kind of surface wave is called a Love wave, named after A.E.H. Love, a British mathematician who worked out the mathematical model for this kind of wave in 1911. It›s the fastest surface wave and moves the ground from side-to-side.

Rayleigh Waves. The other kind of surface wave is the Rayleigh wave, named for John William Strutt, Lord Rayleigh, who mathematically predicted the existence of this kind of wave in 1885.

A Rayleigh wave rolls along the ground just like a wave rolls across a lake or an ocean. Because it rolls, it moves the ground up and down, and side-to-side in the same direction that the wave is moving.

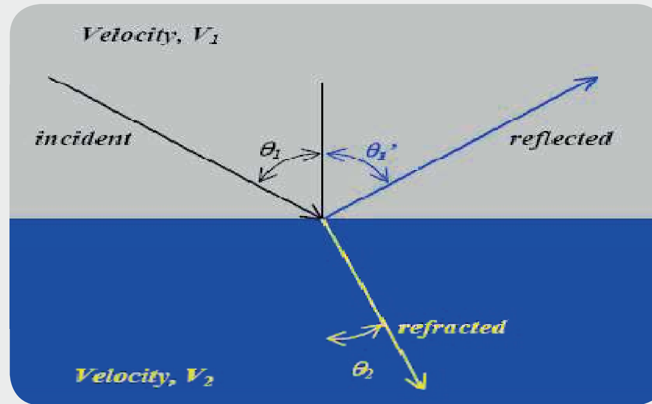
Most of the shaking felt from an earthquake is due to the Rayleigh wave, which can be much larger than the other waves.





79 ينص قانون سنيل في الانكسار السيزمي على ؟

A wave incident on a boundary separating two media is reflected back into the first medium and some of the energy is transmitted, or refracted, into the second. The geometry of refraction and reflection is governed by Snell's Law which relates the angles of incidence, reflection and refraction to the velocities of the medium. The cartoon below illustrates the ray geometry for a P-wave incident on the boundary between media of velocity V1 and V2. The angles of incidence, reflection and refraction, θ1,θ1', and θ2, respectively are the angles the ray makes with the normal to the interface.



Snell's Law states that $\frac{Sin\ \theta_1}{V_1} = \frac{Sin\ \theta_1'}{V_1} = \frac{Sin\ \theta_2}{V_2}$

80 لماذا لا تتواجد الزلازل على أعماق بعيدة ؟

The greater the depth, the greater the pressure and hence the greater the force needed to produce the sudden movement along a fault that causes an earthquake. At extreme depths it is impossible for the force needed to be generated.





81 ماهي أهم عيوب الانكسار السيزمي ؟

Blind layer problem. Blind layers occur when there is a low velocity layer (LVL). Head waves only occur for a velocity increase. Thus, there will be no refraction from the top of the LVL and this layer will not be detected on the time-distance plot. This is shown below.

Hidden layer problem. Hidden layers result when there is a velocity increase with layer depth, but the head wave from the top of one layer is never the first arrival on a time-distance plot. Head waves from a deeper layer arrive at the detectors before the arrivals from this layer. Two factors can cause hidden layers: 1) the layer is very thin or 2) there is only a small velocity increase at the top of the layer. This is shown below. It is sometimes possible to recognize hidden layers by looking for arrivals after the first arriving energy.

82 Which kind of volcano is being described below? Use one of these terms: active, dormant, or extinct?

a	No longer erupting ***(extinct)***
b	Could be described as "sleeping" ***(dormant)***
c	May erupt in the future but is not erupting at present or recently ***(dormant)***
d	Erupting on a regular basis ***(active)***
e	The volcano is eroding and a volcanic rock is exposed ***(extinct)***

83 When volcanic island chains are formed, what moves?

a	the mantle plume	b	***the plate above the mantle plume***
c	both the plate and the plume	d	nothing moves

84 Which one has examples of volcanoes caused by ‹convergent tectonic plate, coming together?

a	Mid Atlantic ridge	b	***Pacific ring of fire***
c	Both (a) and (b)	d	None of these



85	Which ridge has examples of volcanoes caused by «divergent tectonic plates»		
a	Pacific ring of fire	b	***Mid Atlantic Ridge***
c	Both (a) and (b)	d	None of these

86	Volcanoes are usually located on?		
a	Divergent plate boundaries	b	Convergent plate boundaries
c	Hotspots	d	***All of them***

87	The volcanoes formed by the alternating layers of lava and rock fragments are called?		
a	Cinder cones	b	Spatter cones
c	***Compostite volcanoes***	d	Shields

88	Composite volcanoes are also known as?		
a	***Stratovolcanoes***	b	Shields
c	Compound volcanoes	d	None of these

89	Types of volcanoes are:		
a	Cinder cones	b	Spatter cones
c	Composite Volcanoes	d	Shields
e	***All of them***		





90	What can cause a tsunami?		
a	Landslide	b	Underwater earthquake
c	Volcanic eruption	d	***All of the above***

91	What does the word «tsunami» mean in Japanese?		
a	Tidal wave	b	***Harbor wave***
c	Killer wave	d	Century wave

92	What is the most active tsunami area?		
a	Pacific Ocean	b	***Caribbean Sea***
c	Indian Ocean	d	North Atlantic Ocean

93	Most major tsunamis are produced by earthquakes with magnitudes greater than						
a	6	b	***7***	c	8	d	9

94	Most major tsunamis are produced by earthquakes with hypocenters less than						
a	5 km	b	10 km	c	20 km	d	***30 km***

95	Most major tsunamis are generated by earthquakes along		
a	Divergent margins	b	***Convergent margins***
c	Transform margins	d	

96	In the open ocean a tsunami can travel at speeds of						
a	50 m/hour	b	100 m/hour	c	***966 km/hour***	d	20 m/hour



97	As a tsunami approaches shallow water which of the following set of transformations occur?
a	Wavelength increases, wave period decreases, and wave height stays the same
b	Wavelength decreases, wave period decreases, and wave height increases
c	Wavelength decreases, wave period increases, and wave height increases
d	***Wavelength decreases, waver period stays the same, and wave height increases***

98	The region of initiation of seismic energy within the Earth is called the:
a	epicenter,
b	***hypocenter,***
c	area of greatest building damage
d	area of least building damage

99	Name three logs that would probably reveal the presence of shale?

SP (low value between higher ones), natural alpha ray (high reading), caliper (wide diameter)

100	How are water saturation and hydrocarbon saturation related ?

Sw = (1 – Shc)

101	Maximums energy released from earthquakes are highest in						
a	***Surface Eqs.***	b	Intermediate Eqs.	c	Deep Eqs.	d	Eq. Swarms





102 What is the difference between GPR and EM methods?

For GPR, wavelengths were very short (often less than one meter)\n–For other EM methods, wavelengths are very long:\n –consider 10kHz waves, V=3x108¬m/s\n –Wavelength= 30km\n–Wavelength is so much larger than the survey area that we consider it a constant source spatially and only consider time–varying properties of the field. Very different from GPR

103 What are the advantages and disadvantages of e-m surveying compared to resistivity surveying for ground surveying.

EM but not resistivity operates when the surface layer is very resistive. Conversely, it is has less penetration if the surface layer is very conductive:; resistivity gives more precise location of bodies; e-m is usually easier to use as electrodes do not have to be moved.

104 What factors limit the vertical resolution of a GPR survey ?

Need high frequency for high resolution, but higher frequencies are more rapidly attenuated by conductive overburden, so may need to decrease frequency to get required penetration.

105 Give two general reasons why geophysical logging would still be needed in hydrocarbon exploration even if complete cores were available.

Boreholes only sample locally; core samples may be altered by the drilling, e.g., loss of original fluids; some formations may not be sampled at all due to wash out.







قائمة المراجع (References)



المراجــع الأجنبيــة



Al-Amri, A., Fnais, M., Abdel-Rahman, K., Mogren, S., & Al-Dabbagh, M. (2012). Geochronological dating and stratigraphic sequences of HarratLunayyir, NW Saudi Arabia. International Journal of Physical Sciences, 7(20), 2791 -2805.

Alharbi, T. G. (2014). Integrated (remote sensing, GIS, and modeling) hydrological investigation and landslide susceptibility studies in the Arabian shield.

Beiser, A. (1975). Theory and Problems of Earth Sciences (Schaum's Outline Series), 129 p. McGraw-Hill Book Company.

Bhatta, B. (2008). Remote sensing and GIS: Oxford University Press, USA.

Billing, M. P. (1967). Structural geology (2nd ed.): Prentice Hall, Englewood, New Jersy.

Crawford, M. S. (1997). Intoduction to Geology, Cliffs notes.



Davis, R. A. (1983). Depositional systems: A genetic approach to sedimentary geology (Vol. 669): Prentice-Hall Englewood Cliffs, New Jersey New Jersey.

Eicher, D. L. (1976). Geologic time (2nd ed.): Englewood cliffs, New Jersy.

Eicher, D. L., & McAlester, A. L. (1980). History of the Earth: Prentice Hall, Englewood, New Jersy.

El-Kawy, O. A., Rod, J., Ismail, H., &Suliman, A. (2011). Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. Applied Geography, 31(2), 483 -494.

Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). Groundwater (Vol. 7632, 604): Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs.

Gaber, A., Mohamed, A.K., ElGalladi, A.,Abdelkareem, M., Beshr, A., and Koch, M., (2020), Mapping the Groundwater Potentiality of West Qena Area, Egypt, Using Integrated Remote Sensing and Hydro-Geophysical Techniques, Journal of Remote sensing (in press).

Gadallah, M. R., & Fisher, R. L. (2009). Exploration geophysics: Springer, Berlin.

GahlanHisham, HabesGhrefat, (2018). Delineation of gossan zones in arid regions by Landsat 8 (OLI): An application to mineral exploration in the Eastern Arabian Shield, Saudi Arabia. Natural Resources Research, Vol. 27, No. 1. DOI: 10.1007/s110538-9341-017-.

Ghrefat, H., (2020). Mapping Maqna Gypsum Deposits in the Midyan Area, Northwestern Saudi Arabia, Using ASTER Thermal Data. Journal of Geology and Geoscience, Vol. 4 (1), pp. 1 -6.

Gubran Mohammed, HabesGhrefat,Faisal Zaidi, Mohamed Shehata, (2019) . Integration of hydrochemical, GIS, and remote-



sensing data for assessment of shallow groundwater aquifers in WadiNisah, Central Saudi Arabia. Environmental Earth Sciences. March (2019), 78:161.

Hamblin, W. K., & Howard, J. D. (1980). Excercises in physical geology: Burgress publishing company.

Kassem Osama M. K., Habes A. Ghrefat, Haider Zaman, Awni T. Batayneh, SaadAlmogren, Yousef Nazzal, EslamElawadi., (2016). Integrated Remote Sensing and Structural Analysis Studies of Tayyib Al-Ism Area, Northwestern Arabian Shield, Saudi Arabia. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 44(1):91–99 DOI 10.1007/s125244-0470-015-.

Klein, C., &Dutrow, B. (2007). Mineral science: John Wiley & sons.

Kumar, S. (2005). Basics of remote sensing and GIS: Firewall Media.

Lowrie, W. (2007). Fundamentals of Geophysics (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Loni, Oumar Allafouza (2020). A Proposed Geophysical Digital Mapping Model for Determining Water - Bearing Layers in Riyadh City, Saudi Arabia, King Saud University, Riyadh, KSA, Thesis, Unpublished.

Manugula, S. S., &Bommakanti, V. (2018). Photogrammetry, GIS & Remote Sensing: Educreation Publishing, India.

Nemeth, K. (2012). Updates in Volcanology: New Advances in Understanding Volcanic Systems: BoD–Books on Demand.

NRC. (2015). Remote Sensing Tutorial: Natural Resources Canada.

Rona, P. A. (1977). Plate tectonics, energy and mineral resources: basic research leading to payoff. Eos, Transactions American Geophysical Union, 58(8), 629 -639.



Rudman, J. (2000). Geology, GRE Series, National Learning Corporation, NY.

Sacks, I. S. (1983). The subduction of young lithosphere. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 88(B4), 3355 -3366.

Selley, R. C. (1998). Elements of petroleum geology. Gulf Professional Publishing.

Sharma, H. S., Prasad, R., & Binda, P. (2006). Mathematical Modelling in Geographical Information System, Global Positioning System and Digital Cartography: Concept Publishing Company.

Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., Tasa, D., &Tasa, D. (2005). Earth: an introduction to physical geology: Pearson/Prentice Hall Upper Saddle River.

Thies, B., & Bendix, J. (2011). Satellite based remote sensing of weather and climate: recent achievements and future perspectives. Meteorological Applications, 18(3), 262- 295



المراجــع العربيـــة

1. الأرض: مقدمة للجيولوجيا الطبيعية، د. ادوارد جي. تاربوك، د. فريدريك ك. لوتجنز، ترجمة د.عمر سليمان حمودة، د. البهلول علي اليعقوبي، د. مصطفى جمعة سالم، دار Elga للنشر العلمي، 1984.
2. أساسيات علم الجيولوجيا، د.محمد حسن، د.عمر شريف، د/عدنان انفاث، دار حوت ويلي وأبنائه، 1983.
3. الزلازل. عبدالله محمد العمري. الجمعية السعودية لعلوم الأرض. الرياض. 2019.
4. البراكين. عبدالله محمد العمري. الجمعية السعودية لعلوم الأرض. الرياض. 2019.
٥. تحليل المورفومتري لشـبكة التصـريف المائي السطحي بحوض شـعيب نساح ، مشاعل بنت محمد آل سعود ، ١٤١٨ ، الرياض ، المملكة العربية السعودية .
٦. نظام الجيومعلوماتية لمديتة الرياض والخريطة الجيولوجية الرقمية لمنطقة الرياض ، مشـاعل بنت محمد آل سـعود ، ١٤٣٦ ، الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض ، الرياض المملكة العربية السعودية .
5. أساسـيات علم الجيولوجيا، د.محمد يوسف حسـن، د.عمر حسين شريف، د. عدنان باقي النقاش، جون وايلي وأولاده للنشر، 1990.
6. أساسـيات علم الزلازل، د. سـهل السنوي، مركز عبادي للدراسـات والنشر، صنعاء، اليمن، 1997.
7. أسـس وتطبيقات الاستشـعار عن بعد، د. جمعة محمد داود، القاهرة، جمهورية مصر العربية، 2015.
8. أسس ومعايير تقويم الخطر الزلزالي في المملكة العربية السعودية، البحث أ ت 9-31، د.



محمد الحداد،د. راجح الزيد،د. منير عرفه، د. التان انجيلو،د. نيازي تركلي، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية – الرياض، 1993.

9. اعتماد مواصفات التصميم الإنشائي لمقاومة الزلازل في المملكة العربية السعودية – لماذا وكيف؟ د. سعيد الغامدي، د. عبد الله العمري، ندوة الإبداع والتميز في النهضة العمرانية خلال مائة عام. وزارة الأشغال العامة والإسكان، 1994.

10. البراكين، مجلة العلوم والتقنية، العدد 32، د. جمعة عبد الرحيم العلاوى، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، الرياض، 1995.

11. الجيولوجيا العامة، د. مصطفى محمود سليمان، مطبوعات جامعة الزقازيق، مصر،1985.

12. الجيولوجيا الهندسية، أ.د. حسن كمال يوسف وأ.د.كمال عبد العظيم دهب، مطبوعات جامعة المنوفية، مصر،2005.

13. الخرائط الجيولوجية، د. عبد الرحيم بيومي، مطبوعات جامعة القاهرة، مصر، 1980.

14. الدليل الانشائي لحساب الأحمال الزلزالية واشتراطات الأنظمة الانشائية للمباني بالمملكة العربية السعودية، وزارة الشؤون البلدية والقروية، 1420هـ.

15. النطاقات الزلزالية لشبة الجزيرة العربية والدول المجاورة، د. عبد الله محمد العمري، مركز الدراسات الزلزالية، جامعة الملك سعود، الرياض، 2005.

16. علم الصخور، د. عادل كمال جميل،د. مازن يوسف هرمز، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي-العراق،1981.

17. علم المعادن، د. عبد الهادي الصايغ، د. خالد محمود بنات، د. عبد الجبار الجبوري، دار الطباعة والنشر، الكويت، 1981

18. الجاذبية الأرضية .عبدالله محمد العمري. الجمعية السعودية لعلوم الأرض. الرياض. 2019.

19. مبادئ الاستشعارعن بُعد، د. بهاء فؤاد مقبلة، الزعيم للخدمات المكتبية



والنشر،القاهرة، 2017.

20. مبادئ الجيولوجيا العملية، د. عبد الرحيم بن عاشور، مطبوعات جامعة الفاتح، ليبيا، 2003.

21. مقدمة في الاستكشـاف الجيوفيزيائي، أ.د. مليتون ب دوبرين، ترجمة أ.د. إسـماعيل شعبان إسماعيل وآخرون، دار ماكر جوهيل للنشر،1976.

22. مُقدمـة في الصـورالجوية والمرئيات الفضـائية، د. جمعة محمـد داود، مكة المكرمة، المملكة العربيةالسعودية، 2013.

23. مـن عجائب الخلق في الكـون العظيم، د. محمد إسـماعيل الجاويش، الـدار الذهبية للطبع والنشر والتوزيع، القاهرة، 2005.

24. هـل أعددت أسـرتك لمواجهة أخطار الزلازل؟أمثال الصـباح، فريال بـوربيع، الدفاع المدني، الكويت.

25. الكيمياء العضوية الإليفاتية. عادل شاكر الطائي، دايخ عيد الحسناوي /الطبعة الأولي 2009، عمان – الأردن

26. جغرافيـا النفـط. مهدي احمد رشـيد. الجنادرية للنشـر والتوزيع - عمـان، 2014، ص 283.

27. اساسـيات جيولوجيا البترول. تأليف ريتشـارد سيلي ؛ ترجمة فاضـل السعدوني. دار الامل، اربد. 1994.

28. طرق الاستكشـاف الجيوفيزيائي ، طالب عبد الامير جاسـم المشـرف . قسم هندسة المعادن، جامعة بابل 2014.

29. مبـاديّ الطـرق الجيوفيزيائيـة في الاستكشـاف الجيولوجي، مهنا متعـب أحمد، كلية العلوم، جامعة تكريت، العراق، 2018.



المصطلحات الجيولوجية مرتبة طبقا للأبجدية الإنجليزية

A	
Abandoned Well	بئر مهجورة
Abrupt	فجائي
Absolute Age	العمر المطلق
Absolute Density	الكثافةالمطلقة
Absolute Gravity	جاذبية المطلقة
Absorption	الامتصاص
Acoustic Impedance	معاوقة الصوتية
Aeolian	ريحي ، هوائي ، قراري سفوي
Aeration	تهوية
Agglomerate	رصيص بركاني ،مدملك بركاني
Aggradation	بناء
Aggradation River	نهر مرسب ، نهر الترسيب



Air Gun	مدفع هواء
Air Wave	موجة هوائية
Allochromatic Minerals	المعادن متغيرة اللون
Alluvial	غريني ،طمي
Alternating Current	تيار متردد
Ambiguity	غموض
Amphibolite	الأمفيبولايت
Amplitude	سعة
Analysis	تحليل
Andesite	الأنديزايت
Anhydrite	الأنهيدرايت
Anomalous Dip	ميل شاذ
Anomalous Drainage	شذوذ التصريف
Anomaly	شاذة
Antarctic	قطب الجنوبي
Antennae	قرون استشعار ،مجسات
Anthracite Coal	فحم الأنثراسيت
Anticlinal Bend	ثنيه تحدبيه
Anticline	طية محدبة
Apex	رأس ، قمة ، ذروة
Apparent Resistivity	مقاومة نوعية ظاهرية
Applications	تطبيقات
Aquifers	خزانات المياه الجوفية
Arctic	قطب الشمالي
Aerated Zone	نطاق التهوية
Arenaceous	رملي



Arkose	الآركوز
Arrangement	ترتيب
Array	ترتيب المجموعة (صف)
Asymmetrical Fold	طيه غير متماثله
Atmosphere	الغلاف الغازي
Attenuation	تخفيف
Attraction And Repulsion	تجاذب وتنافر
Attractive Force	قوة جاذبة
Axial Plane	المستوى المحوري
Axis	محور الطية
B	
Barrage	حاجز ، سد
Barren	قاحل ، مجدب
Base Station	محطة القاعدة
Basement Complex	صخور القاعدة
Basement Rocks	صخور القاعدة
Basement Structure	تركيب صخور القاعدة
Batholith	باثوليث
Bay	خليج ، غب
Bed Rock	طبقة الصلبة
Biomicrite	طين جيري حيوي
Biosphere	الغلاف الحيوي
Body Waves	الموجات الداخلية
Border	حافة ، حرف ، حاشية
Borehole	بئر حفر
Borehole Kick	فورة البئر



Bottom Sedimentation	ترسب قاعي
Bouguer Anomaly	شذوذ بوجيير
Bouguer Correction	تصحيح بوجيير
Boulder	جلمود
Boulder Clay	طين جلمودي
Bounded Aquifer	تكوين مائي محدود
Bowen Reaction Series	سلسلة تفاعلات بوين
Brackish Water	ماء أجاج ، ماء مسوس
Braided Alluvium	طمي مجدول ، طمي مضفور
Braided River	نهر مجدول ، نهر مضفور
Breccia	البريشيا
Brine	ملحي ، أجاج
Bulk Modulus	معامل الحجمي
Buried River	نهر جوفي ، نهر مطمور
C	
Calamite	الكالامايت
Calcareous Rock	صخر كلسي ، صخر جيري
Caldera	عنق بركاني ، منخفض بركاني ، كالديرا
Calibration	معايرة
Canyon	واد عميق ،واد سحيق ، خور عميق
Cap Rock	صخر غطاء
Capillary Rise	الرفع الشعري
Capillary Zone	نطاق الخاصية الشعري
Carbon Content	محتوى فحمي ، محتوى كربوني
Carbonaceous Rock	صخر كربوني
Carbonates	الكربونات



Carbonation	عملية التكربن ، عملية التفحم
Carter	فوهة بركانية
Carter Lake	بحيرة بركانية
Cascade	شلال ،بنيةشلالية
Catchment Basin	حوض النهر ،حوض التجمع
Caved	منهار
Caverning	تغور ، متكيف
Cavernous Limestone	حجر جير متكهف
Cay	جزيرة منخفضة
Cementation Of Rocks	التحام الصخور ، سمنته
Cenozoic	دهر الحياة الحديثة
Centrifugal Force	قوة طاردة مركزية
Chalk	الطباشير
Chalk Marl	طفل طباشيري
Channel	قناه
Channel Lag Deposit	راسب قنوي متبقي ، راسب القناة متخلف
Charcoal	فحم نباتي
Chargability	قابلية الشحن
Chart	منحنى بياني
Chemical Recombination	إعادة التنظيم الكيميائي
Chemical Replacement	الاستبدال الكيميائي
Chemical Stability	ثبات كيميائي
Chert	صوان ، ظران
Clastic	حتاتي ، فتاتي
Clastic Rock	صخر فتاتي ،راسب حتاتي
Clay Ironstone	حجر حديد صلصالي

Clay Minerals	المعادن الطينية
Claystone	حجر طيني
Climate	مناخ
Coal	فحم
Coast Line	خط الساحل ، شاطئ
Coast of Submergence	شاطئ الغمر ، شاطئ الغطس
Coastal Current	تيار شاطئ
Coastal Processes	عمليات شاطئية
Cobble	حصاة كبيرة
Coil	ملف
Collapse	انهيار
Collision Hypothesis	فرضية التصادم
Common Depth Point	نقطة ذات العمق المشترك
Component	مركبة
Composite Fault Scrap	جرف صدعي مركب
Compressibility	قابلية للانضغاط
Compression	انضغاط
Compression Folding	طي الانثناء
Compressional Velocity	سرعة تضاغطية
Compressional Waves	موجات التضاغطية
Concentric Faults	صدوع متحدة المركز ، ممركز صدوع متحدة المركز ، صدوع دائرية
Concentric Fractures	شقوق متحدة المركز ، شقوق دائرية
Concentric Weathering	تجوية ممركزة
Concept	مفهوم
Conchoidal	محاري



Conducting Ore Body	جسم خام موصل
Conductivity	موصلية كهربية
Configuration	نظام (شكل)
Confined Aquifer	خزان الماء الجوفي المحصور
Confluence	ملتقى نهرين
Conformable Beds	طبقات متوافقة
Conglomerate	الرصيص
Conjugate Fractures	كسور مقترنة
Contamination	تلوث
Continental	قاري
Continental Building	بناء القارات
Continental Crust	القشرة القارية
Continental Drift	الانجراف القاري
Continental Environment	بيئة قارية
Continental Shelf	رف قاري ، جرف قاري ، رصيف قاري
Continuous Profiling	تسجيل مستمر للبروفيل
Continuous Reaction Series	سلسلة التفاعل المتصل
Contrast Density	كثافة متباينة
Contribution	مساهمة
Convergence Zones	مناطق التقاء الصفائح
Convergent Plate Boundaries	الواح متقاربة من بعضها
Coordinates	إحداثيات
Coquina	الحجر الجيري العضوي (كوكينا)
Coquina Limestone	حجر جيري كوكيني
Core	اللب
Correction	تصحيح



Correlation	مضاهاة
Coverage	تغطية
Cretaceous	الكريتاسى(الطباشيرى)
Cretaceous Period	العصر الطباشيري
Critical Angle	زاوية الحرجة
Cross Section	قطاع عرضي
Crossover Distance	مسافة العبور
Crust	القشرة
Crystal Face	وجه بلوري
Crystal Form	الشكل البلوري
Crystal Symmetry	التماثل في البلورة
Crystalline Rock	صخور متبلورة
Crystallization From Aqueous Solutions	التبلور من محاليل مائية
Crystallography	علم البلورات ، علم التبلور
Current	تيار
Curve	منحنى
Cycle Of Erosion	دورة الحت
Cycle Of Sedimentation	دورة الترسيب
D	
Dam	سد
Damped Waves	موجات متضائلة
Data	بيانات
Debris	حطام
Debris Flow	تدفق حطامي
Decke	كتلة صخرية مغتربة



Declination	انحراف
Deep Marine Basin	حوض بحري عميق
Deep Sea Platform	رصيف قاع البحر ، منصة غور البحر
Degradation	هدم ، تآكل ، انحلال
Delay Time	أزمنة التأخير
Deltaic Cycle	دورة دلتاوية
Demagnetization	إزالة التمغنط
Density Contrast	تفاوت الكثافة
Denudation	تعرية ، تجريد
Detection	كشف
Devonian،Devonian Period	العصر الديفوني
Dextral Fault	صدع يميني
Diagonal Fault	صدع قطري
Diamagnetic	ضعيف النفاذية المغناطيسية (دايا مغناطيسي)
Diatreme	قصبة البركان
Dielectric Permittivity	سماحية العزل الكهربي
Diffusion	انتشار
Digital Computer	حاسب رقمي
Digital Recorder	مسجل رقمي
Dike	سد ، جدة قاطعة
Dip	ميل
Dip-And Fault Structure	بنية ميل وصدع
Dipole Method	طريقة ثنائية القطب
Dipping Beds	طبقات المائلة
Dip-Strip Fault	صدع انزلاق متوافق
Direct Crystallization From Magma	التبلور المباشر من الصهارة

Direct Current	تيار مستمر
Direct Method	طريقة مباشرة
Direct Wave	موجة مباشرة
Direction	اتجاه
Direction of Dip	اتجاه الميل
Discontinuity	انقطاع أو عدم استمرارية
Discontinuous Reaction Series	سلسلة التفاعل غير المتصلة
Discrete Frequency	ترددات منفصلة
Dismicrite	حجر جير مشوه
Displacement	إزاحة
Distance	مسافة
Distibutaries	روافد ، أفرع النهر
Distortion	تشوه
Diurnal Correction	تصحيح يومي
Diurnal Variation	تغير يومي
Divergence	تباعد
Divergence Zones	مناطق تباعد الصفائح
Divergent Plate Bound	الواح متباعدة من بعضها
Dodecahedron	ذو الاثنى عشر وجها
Dolomite	الدولومايت
Dome	قبة – سنام
Dominant Frequency	تردد سائد
Drag Fold	طية سحب
Drainage Density	كثافة الصرف
Drift	انجراف
Drivatives	مشتقات



Dull	بريق معتم أو باهت
Dunite	الدونيت
Dyke	القاطع
Dyke	جدة قاطعة
Dynamic Model	نموذج حركي
E	
Early Palaeozoic	الحياة القديمة الباكرة، الباليوزوزي الباكر
Early Stage	مرحلة المبكرة
Earth Creep	زحف التربة
Earth Crust	قشرة الأرضية
Earth Crust	القشرة الأرضية
Earth Flow	انسياب الأرض
Earth Tides	مد والجزر
Earthquake Magnitude	القـدر الزلزالـي
Earthquake Seismology	علم الـزلازل
Earthquakes	الــزلازل
Earth's Interior	التركيب الداخلي للأرض
Earth's Movement	حركات الأرض
Eddy Current	تيار دوامي
Effect	تأثير
Elastic Coefficient	معامل المرونة
Elastic Constant	ثابت المرونة
Elastic Limit	حد المرونة
Elastic Wave	موجة مرنة
Electric Field	مجال كهربي
Electric Moment	عزم كهربي

Electrochemical	كهروكيميائي
Electrode	قطب
Electrodes Interval	مسافة تباعد الأقطاب
Electromagnetic Anomaly	شذة كهرومغناطيسية
Electromagnetic Geophones	سماعات كهرومغناطيسية
Electromagnetic Methods	الطرق الكهرومغناطيسية
Electromagnetic Prospecting	تنقيب كهرومغناطيسي
Electromagnetic Radiation	الإشعاع الكهرومغناطيسي
Electromagnetic Spectrum	الطيف الكهرومغناطيسي
Electromotive Force	قوة دافعة كهربية
Element	عنصر
Elevation Correction	تصحيح الارتفاع
Ellipticity of the Earth	تفلطح الأرض
Embankment	سد ترابي ، حاجز ترابي
Empirical	تجريبي
En Echelon Faults	صدوع مجاوزة ، صدوع درجية
End-Moraine	ركام جليدي – طرفي
Energy Source	مصدر الطاقة
Engineering Geology	الجيولوجيا الهندسية
Environmental Geology	الجيولوجية البيئية
Eolian	ريحي ، هوائي
Epirogeny	الحركة الأبيروجينية
Equator	خط استواء
Equilibrium	اتزان
Equipotential Surface	سطح متساوي الجهد
Erosion	تآكل ، تحات ، حت ، تعرية



Escarp	هاوية ، جرف
Esker	كثيب خلفة نهر جليدي
Esturine Deposit	راسب مصب نهري
Evaporite Basin	حوض تبخيري
Evaporites	صخور رسوبية كيميائية تبخريه
Even	مستوي
Excursion	زيغان ، انحراف
Exploration	استكشاف
External Crust	قشرة الأرض ، القشرة الخارجية
Extrusive	سطحي ، طفحي ، انبثاقي
Extrusive Volcanic Rocks	الصخور البركانية
F	
Fabric	نسيج ، بناء ، تالف ، طراز
Fabric Element	عنصر نسيجي صخري
Face Value	القيمة الأسمية
Facing of Strata	توسم الطبقات
Factor	معامل
Failure	انهيار ، تصدع
False Dip	ميل كاذب
Fan Fold	طية مروحية
Fault	صدع
Fault Area	منطقة الصدع
Fault Edge	حافة الصدع ، حافة الفالق
Fault Plane	مستوى التفلق
Feather Joints	فواصل ريشية
Feldspars	معادن الفلسبار



Ferromagnetic	مغناطيس حديدي (حديدو مغناطيسية)
Ferruginous Rocks	صخور حديديه
Fibrous Structure	نسيج ليفي
Field	حقل ، مجال
Field Geology	جيولوجيا حقلية
Field Measurements	قياسات الحقل
Field Procedures	طرق حقلية
Finite	منتهى ، حدود
Flexural Slip	انزلاق بالثني ، انزلاق مع الطي
Floating Platform	منصة حفر عائمة
Flood Plain	سهل فيضي ، الرقة ، سهل فيضان
Flow	تدفق
Fluvial	نهري
Fluvioglacial	نهري ثلجي
Focus	بؤرة
Fog	ضباب
Fold Axis	محور الطية
Fold Mountains	جبال الطي
Foliated Metamorphic Rocks	الصخور المتحولة المتورقة
Foliated Texture	النسيج المتورق
Foliation	تورق
Foot Slope	سطح المنحدر ، جدار سفلي
Foot Wall	الحائط القدمي
Foothill	تل سفحي
Formations	تكوينات
Formula	معادلة



Forward Overlap	التداخل الأمامي
Fossil	أحفورة ، متحجرة ، مستحثة
Four-Fold Axis	محور رباعي
Fracture	كسر ، شق
Free Air Correction	تصحيح الهواء الحر
Free Water Level	مستوى الماء الظاهر ، مستوى الماء الحر
Free Water Surface	سطح الماء الحر
Frequency	تردد
Frequency Domain	مجال التردد
Frequency Range	مدى التردد
Frequency Spectrum	طيف التردد
Fresh Water Barrier	حاجز من ماء عذب
Fribiltiy	تفتتية
Frontal Moraine	ركام الجليد الأمامي
Frost Crack	تشقق الصقيع
Function	دالة
Fundamental Relationship	علاقات أساسية
G	
Gabbro	الجابرو
Gal	وحدة قياس الجاذبية
Galvanometer	مقياس الجهد الكهربي
Gamma Ray Radiation	أشعة جاما
Geiger Counter	عداد جيجر
Gem	هلام ، جيلاتين
Geochemistry	علم الجيوكيمياء
Geodesy	علم الجيوديسيا

Geological Column	عمود جيولوجي
Geological Time Scale	مقياس الزمن الجيولوجي
Geomagnetic Instruments	أجهزة المغناطيسية الأرضية
Geometrical Crystallography	علم هندسة البلورات
Geomorphology	علم الجيومورفولوجي أو علم شكل الأرض
Geophone	لاقط ، مرجفة ، سماعة أرضية ، جيوفون
Geophysics	الجيوفيزياء
Giant Ripple	نيم عملاق
Glacial Climate	مناخ جليدي
Glass Sand	رمل زجاجي
Gneiss	النيس
Gold Placers	برقة الذهب ، مكيث الذهب
Gondwana Land	جندوانالاند
Gorge	أخدود ، خانق
Graben	خسفة ،أخفوضة ، أخدود
Graben and Horst Faults	الصدوع الخندقية والساتر
Graded	مدرج ، متدرج
Graded Sediment	رواسب متماثلة
Gradient of Gravity	ممال الجاذبية
Grain Boundaries	حدود حبيبية
Grain Size Distribution	توزيع حجم الحبيبات
Granite	الجرانيت
Granite Basement	قاعدة جرانيتيه ، قاع جراتيني
Granodiorite	الجرانوديورايت
Granularity	حبيبية
Graphical Method	طريقة بيانية



Graphitic Schist	شست جرافيتي
Gravel Beach	شاطئ حصوي ، شاطئ زلطي ، شاطئ حصباوي
Gravimeter	مقياس الجاذبيه ، ميزان الثقل النوعي
Gravitational Acceleration	عجلة الجاذبية
Gravitational Anomaly	شذة جاذبية
Gravitational Field	مجال الجاذبية
Gravity Anomaly	شذوذ الجاذبية
Gravity Method	طريقة الجاذبية
Gravity Reading	قراءة الجاذبية
Greasy	بريق شحمي
Green Stone	الصخر الأخضر
Groove	أخدود ، ثلم ، حز ، غور
Ground Moriane	ركام مثلجي أرضي
Ground State	حالة الاستقرار
Ground Water	المياه الجوفيه
Groundwater	مياه الأرضي الجوفية
Groundwater Aquifer	خزان الماء الجوفي
Groundwater Movement	حركة المياه الأرضية
Grouping	تصنيف ، تجميع
Grout	ثقل ، ملاط رقيق ، يحقن
Gun	مدفع أو بندقية
Gypsum	جبسي ، جصي
Gypsum	الجبس
H	
Habit	هيئة ، وضع
Hackly	مسنن



Halides	الهاليدات
Halite	ملح معدني ،هاليت
Hanging Wall	الحائط المعلق
Hard Asphalt	أسفلت صلد
Hard Water	ماء عسر
Hardness	الصلادة
Heave	فسحة الصدع
Hercynian Orogeny	الحركة الهرسينية
Hexterahedral	سداسي رباعي الأوجه
Hidden Layer	طبقة المخفية
High Angel Fault	صدع عالي الميل ، صدع مرتفع الزاوية
High Order	الرتبة العالية
High-Pass Filter	مرشح إمرار الترددات العالية
Hill Side	منحدر جانب التل
Hinge Belt	حزام مفصلي
Historical Geology	الجيولوجيا التاريخية
Homogeneous Half Space	وسط متجانس نصف فضائي
Horizon	أفق ، مستوى
Horizontal Fault	صدع أفقي
Hornfels	لهورنفلس
Horst Fault	صدع بارز
Hydrologic Cycle	دورة المياه الطبيعية
Hydrologic Regime	نظام مائي ، نظام جريان
Hydrology	علم المياه
Hydrophone	سماعة مائية
Hydrosphere	الغلاف المائي



Hysteresis Loop	منحنى التخلف
I	
Ice Age	عصر جليدي
Ice Avalanche	انهيار جليدي
Ice Cap	قلنسوة جليديه ، قمم جليديه
Idiochromatic Minerals	المعادن الأصلية اللون
Igneous Rocks	الصخور النارية
Immature	فج ، غير ناضج
Impedance	معاوقة
Impermeable	كتيم ، لا إنفاذي ، غير منفذ
Imperious	غير مسامي ، لا مسامي
Inclination	ميل
Inclined Axis	المحور المائل
Index Fossil	المستحاثة الدالة
Index Map	خارطة الدليل ، خارطة دالة
Indirect Method	طريقة غير مباشرة
Induced Magnetism	مغناطيسية مستحثة
Induced Polarization	استقطاب مستحث
Induced Polarization Method	طريقة الاستقطاب المستحث
Indurated Rock	صخر قاس ، صخر صلب
Inert Gas	غاز خامل
Influent	رافد
Infra-Red	تحت - حمراء
Inland Sea	بحر داخلي
Inner Core	اللب الداخلي
Instability	عدم الثبات ، لا استقرارية



Instrument	جهاز
Intensity of Magnetization	شدة التمغنط
Intercept Time	زمن الاعتراض
Interface	سطح فاصل
Interference	تداخل
Intraformational	بين تكويني
Intergranular Porosity	مسامية بين الحبيبات
Intermediate Stage	مرحلة المتوسطة
Intermittent Stream	مجرى مائي متقطع
Internal	داخلي ، باطني
Internal Moraine	ركام جليدي باطني
Interpretation	تفسير
Intertidal Region	منطقة المد ، إقليم المد
Interval Velocity	سرعة بينية
Intrusive Igneous Rocks	الصخور النارية المتداخلة
Inverse Square Law	قانون التربيع العكسي
Invertebrate	لا فقاريات
Iron Sand	رمل حديدي
Irregular	غير منتظم
Irregular Bedding	تطبق غير منتظم
Island Arc	جزر قوسية
Isoclinal	متماثل الميل ، متساوي الميل ، متفق الميل
Isoclinal Fold	طية متفقة الميل ، طية متماثلة الميل
Isopach Line	خط تساوي سمك الطبقة
Isostasy	التوازن

J



Jagged	مسنن ، ملثم
Jet Stream	نافورة نهر
Joints	فواصل
Juxtaposition	تجانب
K	
Kame	كثيب جليدي
Kanat	قناة
Kaolinization	الكولنة ،التكلون ، التغضر
Karat	قيراط ، خرافيش ، قشعات
Kettle Lakes	بحيرات قدورية
Key Horizon	أفق دال ، أفق دليل ، مستوى طبقي دال
L	
Lacolith	لاكوليث
Lacustrine Deposit	رواسب بحيريه
Lagoonal Deposit	راسب بحيرة شاطئية
Lake Clay	صلصال البحيرات
Lake Marl	مارل البحيرات
Lamellar-Twining	توأم صفائحية
Laminar Flow	انسياب صفائحي
Land Bridges	معابر أرضية
Land Fall	انهيار ترابي
Land Mass	كتلة الأرض
Land Slide	انزلاق أرضي ، انهيار ، انهيار أرضي
Late Stage	مرحلة المتأخرة
Lateral Moraine	ركام مثلجي جانبي
Lateral Variation	تغير جانبي

Latitude	خط عرض
Laurasia	لوراسيا
Lava	حمم
Law of Continuity	قانون الاتصال
Law of Priority	قانون الأسبقية
Law of Superposition Strata	تعاقب الطبقات
Layer	طبقة
Leach	يصفي ، يروق ، يرشح ، يقصر
Leakage	تسرب
Lee Face	وجه معاكس للتيار
Lens–Shaped Plutons	الأجسام العدسية
Lenticular	عدسي
Levee	حاجز فيض ، سد حافة النهر ، جسر سهل الفيضان
Limbs	جناحا الطية
Limestone Siliceous	صخور رسوبية كيميائية سيليسية
Limestone Inorganic	الحجر الجيري غير العضوي
Limitations	قيود
Linear Folds	طيات خطية
Listric Fault	صدع سفلي الميل
Lithic Arenite	رمل صخري
Lithic Sandstone	حجر رملي صخري
Lithified Fossil	أحفورة متصخرة
Lithological Map	خارطة ليثولوجية ، خارطة صخرية
Lithology	طبيعة الصخر
Lithostatic Pressure	ضغط صخري
Loam	طفال ، تربة رملية طينية



Local Anomaly	شذوذ محلي
Loess	اللوس ، تربة اللوس ، طيس
Longitude	خط الطول ، الطول
Longitude Dune	كثيب طولي
Longitudinal Waves	موجات الطولية
Lonshore Currents	تيارات الشاطئ
Lopolith	لوبوليث
Love Wave	موجة لاف
Low Speed Layer	طبقة ذات سرعة منخفضة
Lower Mantle	الوشاح السفلي
Low-Frequency Currents	تيار منخفض التردد
Lunar Diurnal Changes	تغيرات يومية قمرية
Lunar Diurnal Variation	تغيرات يومية قمرية
Luster	البريق
M	
Magnetic Declination	انحراف مغناطيسي
Magma	مجما (الصهير)
Magmatism	الصهارية ، تكون الصهارة
Magnetic Declination	انحراف مغناطيسي
Magnetic Equator	خط استواء مغناطيسي
Magnetic Inclination	ميل مغناطيسي
Magnetic Induction	حث مغناطيسي
Magnetic Method	طريقة المغناطيسية
Magnetic Moment	عزم المغناطيسي
Magnetic North Pole	قطب الشمال المغناطيسي
Magnetic Storms	عواصف مغناطيسية



Magnetic Survey	مسح مغناطيسي
Magnetic Susceptibility	تقبليه مغناطيسية
Magnetite	أكسيد الحديد المغناطيسي (ماجنيتيت)
Magnetometer	جهاز قياس المغناطيسية
Magnetotelluric	تيار الأرضي المغناطيسي
Magnetotelluric, MT	طريقة التيار الأرضي المغناطيسي
Mainland	بر ، اليابسة
Mammalia	اللبائن ،اللبونات ، الثديات
Mantle	وشاح ، جبة ، غلاف النواة ، برنس
Mantle Rock	وشاح صخري ، غلاف صخري
Mantle	الوشاح
Marble	الرخام
Marble Quarry	مقلع رخامي
Marginal Moraine	ركام مثلجي حافي
Marine	بحري
Marine Band	شريط بحري
Marine Currents	تيارات بحرية
Marine Facies	سحنة بحرية
Marine Platform	رصيف بحري ، رف بحري
Marl	طين كلسي ، مارل
Marsh	مستنقع ملحي ، سبخة
Massif	نجد ، هضبة صخرية
Master Curve	منحنى قياس أصلي
Master Fracture	كسر رئيسي ، شق رئيسي
Mathematical Structure	بنية رياضية



Matrix	فرشة ، راسب الأرضية ، مادة الترابط ، المادة الغشائية ، مصفوفة
Mature Valley	وادي كامل التكوين
Maximum Convexity	تحدب أعظم
Mean Velocity	سرعة متوسطة
Meander Belt	حزام التعرج
Meandering	انعطاف النهر ، تعرجات
Meandering Stream	مجرى مائي متعرج
Mechanical Deformation	تغير ميكانيكي فى الشكل
Medial	المتوسط ، الوسيط
Medial Moraine	ركام مثلجي وسطي
Medium Grained	متوسط الحبيبات
Mesozoic:	دهر الحياة المتوسطة
Meta-igneous	ناري متحول
Metal Factor	معامل الفلز
Metallic Luster	بريق معدني
Metamorphic Petrology	علم الصخور المتحولة
Metamorphic Rocks	صخور متحولة
Meta-sediment	راسب متحول
Metasomatic Alteration	تحول معدنية ذاتية
Metastable	شبه مستقر ، نصف مستقر
Metavolcanics	صخور بركانية متحولة
Meteorology	علم الظواهر الجوية ، علم أرصاد الجو
Mica	معادن المايكا
Microclastic	فتاتي دقيق
Micropaleontology	علم الأحافير الدقيقة

Microporosity	مسامية دقيقة
Microseism	زلزال خفي ، هزة أرضية خفيفة
Microseisms	الزلازل الدقيقة
Micro-Tectonics	تكتونية دقيقة
Migrating	مهاجرة
Milligal	مللي جال
Mineral Content	المحتوى المعدني للصخر
Mineral Deposit	راسب معدني
Mineral Formation	تكون المعادن
Mineralogy	علم المعادن
Mining Geology	جيولوجيا التعدين
Minor Elements	عناصر نادرة
Mobilization	إماعة ، تحركية
Mode of Occurrence	طريقة التواجد
Mode of Origin	كيفية النشأة للصخر
Modeling	عمل نموذج
Moderate Deformation	تشوه متعدل
Modern Sediment	راسب حديث
Monitor Well	بئر الجس
Monocline	وحيد الميل
Monocline Fold	طية وحيدة الميل
Monometallic	أحادي ، الفلز ، وحيد التمعدن
Monomineralic Rock	وحيد المعدن
Mosaic	فسيفساء ، فسيفسائي ، خرائط من صور مصفوفة
Mother Rock	صخرة رئيسية ، الصخر الأم
Mountain Building	بناء الجبال



Mountain Chain	سلسلة جبال
Moving Moraine	ركام جليدي متحرك
Mud Clasts	فتات وحلي
Mud Flow	تدفق طيني ، انسياب طيني
Multiphase	متعدد الأطوار
Multiple Reflection	انعكاس متعدد
N	
Native Mineral	معدن طليق ، معدن حر
Natural Levee	سد جرفي طبيعي ، حاجز فيض
Near Surface Wave	موجة قريبة من السطح
Nickel	نيكل
Nodes	ندب
Noise	تشوش أو ضوضاء
Non-bedded	غير طبقي ، لا طبقي
Non-clastic	غير فتاتي
Nonlinear	غير خطي
Nonmarine Fossil	احفورة غير بحرية
Non-Metallic Luster	بريق غير معدنى
Nonpolarized Electrode	قطب غير مستقطب
Nonporous	لا مسامي ، غير مسامي
Normal Dip	ميل عادي
Normal Fault	صدع عادي ، صدع رأسي
Normal Faults	الصدوع العادية
Normal Gravity	جاذبية طبيعية
Nubian Sandstone	حجر رملي نوبي
Nubian Shield	الدرع النوبي



Nuclear Fission	انشطار نووي
O	
Oasis	واحة
Oblique Bedding	تطبق مائل
Oblique Fault	صدع مائل
Observation	قياسات
Observed Gravity	جاذبية مقاسه
Ocean Basin	حوض المحيط
Oceanic Crust	القشرة المحيطية
Oceanic Ridge	حيد محيطي ، حاجز محيطي
Oceanic Ridge	حيود وسط المحيطات
Oceanic Trench	مناطق الأغوار المحيطية
Oceanography	علم المحيطات
Offset	تغير مفاجئ ، تزحزح
Offshore Drilling	حفر بحري ، حفر في عرض البحر
Oil Bearing Rock	صخر نفطي
Oil Sand	رمل نفطي
Olivines	معادن الأوليفين
Oolitic Limestone	حجر جيري بطروخي ،حجر جيري سرئي
Opal	حجر لبني ، عين الشمس
Open Fault	صدع مفتوح
Ophiolite	الأوفيوليت
Ordinary	عادي ، اعتيادي
Ore Deposit	رواسب الخام
Organic Claystone	حجر طيني عضوي
Origin	أصل ، منشأ



Orogency	نشوء الجبال ، تجبل
Orogeny	الحركة الأوروجينية
Orthogenesis	نظرية التطور الموجه
Ostracum	طبقة الصدفة
Out Of Phase	متفاوت أو خارج الطور
Outcrop of Inclined layers	مكاشف الطبقات المائلة
Outcrop of Vertical Layers	مكاشف الطبقات الرأسية
Outcrops of Horizontal layers	مكاشف الطبقات الأفقية
Outer Core	اللب الخارجي
Outflow	جريان الانبثاق
Over bank Deposits	رواسب عبر الضفة
Overburden Pressure	ضغط الغطاء الصخري
Overgrowth	طية متضاعفة ، طية معكوسة
Overlap	تراكب ، تداخل ، مجاورة ، تجاوز
Overthrown Fold	طية متكئة
Overturned Fold	طية مقلوبة
Oxbow Lake	بحيرة قوسية ، بحيرة هلالية
Ozone	أوزون
P	
Pacific Ocean	المحيط الهادي
Paired Terraces	مدرجات نهرية زوجية
Paleocene	العصر الحديث الأسبق ، عصر الباليوسين
Paleogeography	علم الجغرافية القديمة
Paleontology	علم الأحافير ، علم المستحاثات
Paleozoic System	نظام الحياة القديمة ، النظام الباليوزي
Paleocurrent Flow	تدفق التيار القديم



Paleomagnetism	مغناطيسية قديمة
Paleosol	تربة قديمة
Paleozoic	دهر الحياة القديمة
Pangaea	أم القارات
Pangea	البانجيا
Parallel Faults	صدوع متوازية
Parent Rock	صخر الاساس
Pearly	بريق لؤلؤي
Pebbly Mudstone	حجر طيني حصوي
Pediment	رصيف صخري ، منحدر جبلي
Pediplain	سهل تعرية متحوض
Pegmatite	البيجماتيت
Pelagic Animals	حيوانات بحرية عميقة
Pelitic Rock	صخر طيني
Penetration Depth	عمق الاختراق
Peninsula	شبة جزيرة
Perched Groundwater	خزان الماء الجوفي الجاثم
Perched Water Table	مياه جوفية جائمة ، ماء باطني معلق
Perennial Stream	نهر دائم
Peridotite	البريدوتيت
Peridotite	البريدوتيت
Period	حين ، فترة ، وقت ، دور ، عصر
Peripheral Moraine	ركام جليدي محيطي
Permanent Flow	جريان دائم
Permeability	نفاذية
Permeability	النفاذية



Permeable Rock	صخر نفاذي
Petrification	تحجر ،تصخر
Petroleum Gas	غاز النفط
Petroleum Geology	جيولوجية النفط
Petrology	علم الصخور
Phaneritic Texture	نسيج خشن
Phase	طور ، مرحلة ، صنف
Phase Angle	زاوية الطور
Phase Change	تغير الطور
Phosphate	فوسفات
Phosphate	الفوسفات
Phosphates	الفوسفات
Phyllite	الفيلايت
Physical Geology	الجيولوجيا الطبيعية
Physical Geology	الجيولوجيا الطبيعية (الفيزيائية)
Physiography	التضاريس الطبيعية
Pillow Lava	حمم وسادية ، لابة وسادية
Plain	سهل ، خطة ، مخطط اسقاطي
Planet	كوكب سيار
Plate Tectonic Theory	نظرية الألواح التكتونية
Plate Tectonics	ألواح تكتو نية
Playa Lake	بحيرة صحراوية
Plug	سدادة
Plutonic	جوفي
Polar	قطبي ، محوري
Polarization	استقطاب

Polygenesis	تعدد الأصل ، تعدد النوع
Pool	بركة
Pore	مسام ، ثغر
Porosity	مسامية
Porphyry	صخر بورفيري ، صخر فرفيري
Position	موقع
Positive Element	عنصر موجب
Post Tectonic	بعد التكتونية ، تالي التكتونية
Potential	جهد
Potential Field	مجال جهد
Potentiometer	مقياس فرق الجهد
Power Spectra	طيف القوى
Precambrian	ما قبل الكامبري
Preglacial	ما قبل الجليدي
Primary Pricipitation	ترسيب ابتدائي ، ترسيب أولي
Primary Rocks	الصخور الأولية
Primary Waves	موجات الأولية
Processes Flow Diagram	مخطط حركة التصنيع
Processing	معالجة
Pro-Delta	مقدم الدلتا ، قبل الدلتاوي
Profile	بروفيل
Propagation Of Velocity	سرعة الانتشار
Property	خاصة ،خنصية
Prospecting	تنقيب
Pseudoachromatic Minerals	المعادن كاذبة اللون
Pseudo-Section	مقطع خادع



Pulse	نبضة
Pyroclastic	فتاتي بركاني ، فتاتي ناري
Pyroxenes	معادن البيروكسين
Q	
Quadrangle	رباعي
Quadratic Mean	وسط تربيعي
Qualitative	نوعي ، كيفي
Qualitative Interpretation	تفسير كيفي
Quality	جودة ، نوع ، كيفية
Quality Factor	معامل الوصف
Quantitative Analysis	تحليل كمي
Quantitative Interpretation	تفسير كمي
Quantity	كمية
Quarry	محجر ، مقلع
Quarrystone	محجر حجر البناء
Quarter	ربع
Quartering Bipyramid	ربع الهرم الثنائي
Quartz Sand	رمل المرو
Quartz	مرو ، كوارتز
Quartzite	كوارتزيت ، صخر المرو
Quaternary	الحين الرابع
Questa	تلال رسوبية ، عقبة ، كويستا
R	
Radar	رادار
Radial	شعاعي
Radians	زاوي



Radiation	إشعاع
Radioactive	مشع
Radiobes	قضبان
Rain Fall	هطول المطر
Rake	ميل ، غطس
Random	عشوائي
Range	مدى
Rank	رتبة
Rate	معدل ، قيمة ، فئة ، درجة
Ratio	نسبة ، معدل
Ravine	خانق ، وهدة
Raw	فج
Ray	شعاع
Rayleigh Wave	موجة رالي
Reaction	تفاعل
Reagent	كاشف
Rearrangement of Minerals Atoms	إعادة ترتيب ذرات المعادن
Rebound	ارتداد ، رد الفعل
Recent Period	العصر الحديث
Recharge	شحن ، يشبع ،تطعيم
Reciprocal Time	زمن متبادل
Reconnaissance Survey	مسح استطلاعي
Record	سجل ، محضر
Recovered	مستعاد ، مسترد ، متحصل
Recrystallization	إعادة التبلور
Recrystallization	إعادة التبلور



Red Bed	طبقة حمراء
Red Clay	طين أحمر
Reduction of Data	اختزال البيانات
Reef	معقد الشعب
Reef Rocks	الصخور الشعابية
Reel	بكرة
Reference	مرجع ، مسند
Reflecting Interface	حد الفاصل العاكس
Reflection	انعكاس
Reflection Time	زمن انعكاس
Reflex	ينعكس ، سائل مرتد
Refolding	طي متكرر
Refraction	انكسار
Regidity Modulus	معامل الصلابة
Regime	نظام
Region	إقليم
Regional Dip	ميل إقليمي
Regional Effect	تأثير إقليمي
Regional Gravity	جاذبية إقليمية
Regolith	الثرى ، الغطاء الحتاتي
Regressive Cycle	دورة تراجعية
Regular	منتظم ، عادي
Rejuvenated	متصابي
Relative	نسبي
Release	يطلق ، يحرر
Relief	تضاريس

Remenant Magnetization	مغناطيسية متخلفة
Remote Sensing	الاستشعار عن بعد ، التحسس النامي
Reproduction	تكاثر ، انتاج
Repulsion	تنافر
Reserve	احتياطي ، حجز ، حفظ
Residual	متبقي ، متخلف ، فضالة
Residual Magnetization	مغناطيسية متبقية
Resinous	بريق صمغي
Resistance	مقاومة
Resistivity	مقاومة نوعية
Retreat	تراجع
Reversal	انعكاسي
Reverse Faults	الصدوع العكسية
Review	مراجعة ،تنقيح ، نقد
Reworked	معادة الترسيب ، معادة التشكيل
Rhomb	معين
Rhyolite	ريوليت
Rhythmic	نسقي ، إيقاعي
Ribbon	شريط ، وشاح
Rich Oil	زيت غني
Ridge	مرتفع شغف ، ارتفاع متطاول ، قمة متطاولة ، حيد
Rift	خسف ، انسداد
Rig	برج الحفر
Ring	حلقة
Ripple	نيم ، علامات النيم
Rise	سطح منحدر



River	نهر
River Bank	ضفة النهر
River Basin	حوض النهر
River Bed	قاع النهر ، سرير النهر
River Capture	الأسر النهري
River Channel	قناة النهر ، مجرى النهر
River Divide	مقسم النهر
River Load	حمولة النهر
River Meandering	التواءات نهرية
River Mouth	فم النهر ، مصب النهر
River Terraces	الشرفات النهرية
Rock	صخر
Rock Distortion	تشوه الصخور
Rock Salt	الملح الصخري
Rolling	دحرجة ، تدحرج
Roof	سقف
Root	جذر ، أصل
Rough	خشن
Row	صف
S	
Sabkha	سبخة
Saddle	السرج
Saline	مالح
Salt Dome	قبة ملحية
Sand	رمل
Sandstone	الحجر الرملي



Satellite Images	المرئيات الفضائية
Saturated Zone	نطاق التشبع
Scattered Energy	طاقة مبعثرة
Scattering	التشتت
Schematic Diagram	رسم بياني تخطيطي
Scheme	مخطط ، يخطط
Schist	الشيست
Schlumberger Array	ترتيب شلمبرجير
Scree	ركام
Sea Level	منسوب سطح البحر
Sea Mount	جبل بحري ، جبل قاعي بحري
Second Derivative	مشتقة الثانية
Secondary Waves	الموجات الثانوية
Secular Change	تغيرات متناهية البطء
Sediment	راسب
Sedimentary Basin	حوض رسوبي
Sedimentary Rocks	الصخور الرسوبية
Sedimentation	ترسب ، ترسيب
Sedimentology	علم الرسوبيات
Seep	ينز ، يرشح
Seepage	الرشح
Segment	حلقة ، قطعة ، شدفة
Seismic Coupling	ازدواج سيزمي
Seismic Energy	طاقة سيزمية
Seismic Method	طريقة السيزمية
Seismic Waves	موجات سيزمية



Seismic Zonation	التمنطق الزلزالي
Seismogram	مرسمه الزلازل (سيزموجرام)
Seismology	علم الزلازل
Self Potential	جهد ذاتي
Sensitivity	حساسية
Sensor	جهاز حساس (مجس)
Separation	فصل
Sequence	تتابع ، تعاقب
Series	متسلسلة
Settling	استقرار
Shale	طفل، طين صفحي ، طفال
Shallow	ضحل
Shear	جز (قص)
Shear Strain	انفعال القص
Shear Wave	موجة القص
Shear Waves	موجات القص
Sheet Intrusions	الأجسام اللوحية
Shelf	رف ، رصيف
Shell Layer	طبقة صدفية
Shelly	صدفي ، قوقعي
Shelves	أرصفة ،أرفف
Shift	زحزحة ، نزوح
Shock	صدمة ، هزة
Shot	تفجير
Shot Hole	حفرة تفجير
Shrinkage	تقلص ، انكماش

Silky	بريق حريري
Sill	جدة موازية
Silt	غرين ، طمي
Siltstone	الحجر الغرينى
Skin Depth	عمق القشرة
Slate	الأردواز
Slip Faults	صدوع الانزلاق
Slot	فتحة
Sludge	وحل ، راسب طيني
Smoothing	تسوية
Soil	تربة
Solid	صلد ، صلب ، جامد
Solubility	ذوبانية ، ذائبية
Sonde	جهاز تسجيل في البئر
Sonic Log	سجل السمعي
Sorting	فرز ، تصنيف
Source	أصل،منشأ ، مصدر
Sources Of Groundwater	مصادر المياه الجوفية
Space	فضاء
Specific Gravity	الكثافة النوعية
Spectral	طيفي
Spectral Resolution	الدقة الطيفية
Spit	لسان ساحلي
Spontaneous	تلقائي، ذاتي
Spread	امتداد
Spring	زنبرك



Springs	الينابيع
Square Wave	موجة مربعة
Stable	ثابت
Stacking	تجميع
Stage	طور ، مرحلة
Stalactite	هوابط
Stalagmite	صواعد
Static Shift	إزاحة إستاتيكية
Static Shoreline	خط شاطئ ساكن
Statistical Studies	دراسات احصائية
Steady State	حالة استقرار
Steel	صلب ، فولاذ
Steep	شديد الانحدار
Step Fault	صدع درجي ، صدع متدرج
Stock	ستوك
Stone Age	العصر الحجري
Strain	الانفعال
Strand Line	خط تردد الشاطئ
Strata	طبقة
Stratigraphic Range	مدى استراتوجرافي
Stratigraphy	علم الطبقات
Stratosphere	الغلاف الجوي الأعلى
Stratum	طبقة
Stray Sand	طبقة رملية شاردة
Streak	المخدش
Stream	تيار ، مجرى

Streamer Cable	كابل شريطي
Streamlet	نهير
Strength	شدة ، قوة ، متانة ، عزم
Strength of Magnetization	شدة المغناطيسية
Stress	إجهاد
Strike Line	خط المضرب
String	خيط
Strip	شريط
Structural	بنيوي ، تركيبي ، بنائي
Structural Features	ظواهر (سمات) تركيبية
Structural Geology	الجيولوجيا التركيبية
Structural Relief	تضاريس تركيبية
Style	نسق ، طراز ، أسلوب
Sub-Era	دهير ، تحت الدهر
Subglacial	تحت جليدي
Submagma	صهارة ثانوية
Subsidence	انخفاض ، هبوط ، خفس
Subsoil	تربة تحتية ، تربة سفلى
Substrata	طبقة سفلية ، طبقة تحتية
Subsurface	تحت سطحي
Susceptibility	تقبليه
Sulfides	الكبريتيدات
Sun	شمس
Sunspot	بقعة شمسية
Sunspot Cycle	دورة البقع الشمسية
Superficial	سطحي



Supergene	علوي النشأة ، تالي النشأة
Super saline	فوق مالح
Supralittoral	فوق الساحل
Supratidal	فوق المد
Surface Wave	موجة سطحية
Surface Waves	الموجات السطحية
Suture	درز ، فج
Swell	انتفاخ
Syenite	سيانيت
Symmetrical Folds	الطيات المتماثلة
Syncline	طية مقعرة
Systematic	نظامي ، تصنيفي ،ترتيبي
Systematic Sampling	نمذجة نظامية
T	
Table	جدول ، مستوى ، سطح ، نجد
Table Land	أرض النجد ، سهل مرتفع
Talus	ركام السفوح ، ركام منحدر
Tangent	مماس
Tectonic	بنائي ، حركي ، تكتوني
Tectonic Earthquake	زلزال حركي ، زلزال بنائي
Tension	شد ، توتر ، جهد
Tension	شد
Tensor	كمية ممتدة
Terrain	تضاريس
Tertiary	الحين الثالث
Tetra-	أربعة ، رباعي

Textural	نسيجي
The Core	اللب
The Earth›s Interior	باطن الأرض
The Earth›s Shell	أغلفة الأرض
The Rocks Cycle	دورة الصخور
Thermal	حراري
Thick	سميك ، ثخين ، كثيف
Tide Land	أرض المد و الجزر
Tilt Angle	زاوية الميل
Time Domain	مجال الزمن
Topography	التضاريس
Topographic Profile	البروفيل الطوبوغرافي
Tough	متين ، قاس
Trace Correction	تصحيح الأثر
Transform Zones	مناطق انزلاق أو زحف الصفائح
Transient	عابر
Transient Electromagnetic	الكهرومغناطيسية للتيار العابر
Translation Movement	حركة انتقالية
Translucent	نصف شفافة
Transparency	الشفافية
Transport	نقل ، ينتقل
Transported Soil	تربة منقولة
Transverse Dune	كثيب مستعرض
Transverse Wave	موجة العرضية
Travel Time Curve	منحنى زمن إنتقال
Travertine	رواسب الينابيع الحارة



Tropic	مدار
True Thickness	السمك الحقيقي
Turbidity	عكورة ، كدورة
Twist	برم ، لي
Two Dimensional	ثنائي البعد
Type	طراز،نموذج ، نوع
U	
Unconfined Aquifer	خزان الماء الجوفي الحر
Unconsolidated Rocks	صخور الغير متماسكة
Uncovered	مكشوف ، غير مغطى
Under Sea	تحت البحر
Underground	تحت السطحية
Underground Water	ماء جوفي ، ماء باطني
Undulate	يتموج ، يموج
Uneven	غير مستوي ، غير منتظم
Un foliated Texture	النسيج الغير متورق
Unidirectional	أحادي الاتجاه
Unifoliate	وحيد الطبقة
Union	اتحاد
Universal Gravitational Constant	ثابت الجاذبية العالمي
Universe	الكون
Uplift	رفع ، مرفع أرضي ، ارتفاع
Upper Mantle	الوشاح العلوي
Uprising	ثورة
Upthrow	رمية عليا ، المرمى العلوي

V	
Valley	وادي
Valley Fill	حشو الوادي
Value	قيمة
Vapor	بخار
Variable	متغير
Vein	عرق ، سامة
Velocity	سرعة
Vertical	عمودي ، رأسي
Vertical Thickness	السمك الرأسي
Vicinity	قرب ، جوار
Violet	بنفسجي
Virgin	بكر ، طبيعي
Viscous	لزج
Visible	مرئي ، منظور ، واضح
Vitreous	بريق زجاجي
VLF,Very Low Frequency	الكهرومغناطيسية ذات الترددات المنخفضة جدا
Volcanic	بركاني
Volcanic Rocks	صخور بركانية
Volcanologist	عالم البراكين ، براكيني
Volcanology	علم البراكين
Voltage	جهد
W	
Wackes	أحجار الواكى
Wackstone	حجر جير طيني ، حجر الواكي ، حجر الجرواق
Wadi	وادي



Warm	دافئ
Warp	انعطاف ، جذب
Wash	كسح ، غسل
Waste	فضالة
Water Bearing	حاملة للمياه
Water Bearing Bed	معين ، طبقة حاملة للماء
Water Bearing Ground	أرض حاملة للماء
Water Content	المحتوى المائي
Water Cycle	دورة الماء
Water Resources	موارد مائية
Water Shed	مستجمع الأمطار
Water Table	منسوب المياه الجوفية
Wave	موجه
Wave Base	قاع الموجة ، قاعدة الموجة
Wave Form	شكل الموجي
Wave Front	صدر الموجة
Wave Line	خط الموجة
Wave Number	رقم الموجة
Wave Path	مسار الموجة
Wave Train	رتل الموجة ، قطار الموجة
Wave Velocity	سرعة الموجة
Waxy	شمعي
Wear	تآكل
Weathering	تعرية ، تجوية
Weathering Correction	تصحيح التجوية
Weigh	يزن

Well	بئر
Well Logging	تسجيلات الآبار
Well Sample	عينة بئرية
Wenner Array	ترتيب فينر
Wet	رطب ، ندى ، مبلل
Wind	رياح
Wind Rose	وردة الريح
Worm	دودة
Wrench Fault	صدع التواء ،صدع محرف
X	
X-Ray	أشعة سينية
X-Ray Spectrometry	الأشعة السينية الطفيفة
Y	
Young	حديث ، ناشئ
Young Stream	مجرى شاب
Youth	شباب ، فتوة ، حداثة
Youthful Valley	مجرى شاب
Z	
Zigzag	تعرج
Zigzag Folds	طيات متعرجة
Zircon	زركون





أ. د. عبد الله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء – كلية العلوم – جامعة الملك سعود

دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990م من جامعة مينيسوتا- أمريكا

- المشرف على مركز الدراسات الزلزالية - جامعة الملك سعود .
- المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي .
- المشرف على مركز الطاقة الحرارية الارضية بجامعة الملك سعود
- رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض .
- رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء – جامعة الملك سعود .
- مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS
- رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية الأمريكية ومعهد ماكس بلانك الألماني .
- مستشار مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية .
- مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني.
- باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعمه من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو .
- باحث رئيس في مشاريع مع وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعمل ليفرمور الأمريكي .
- باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الامريكية .
- عضو الجمعية الأمريكية للزلازل .
- عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء .
- عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين والمهندسين .
- عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل .
- عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط .
- ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية .
- ضمن قائمة Who's Who في قارة اسيا للتميز العلمي .
- ضمن قائمة Who's Who في العالم للاسهامات العلمية .
- نشر أكثر من ١٥٠ بحث علمي في مجلات محكمة .
- ألف٢٣ كتاب علمي .
- أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من ١٤ مجلد و ١٠٧ ملف علمي.
- أنجز ٤٠ مشروع محلي و٧٤ تقرير فني و١٦ مشروع دولي .
- شارك في أكثر من ١٢٥ مؤتمر محلي ودولي و٧٥ ندوة وورشة عمل متخصصة.
- باحث رئيسي في ١٣ مجموعة عمل أمريكية وألمانية .
- حصل على جائزة المراعي للابداع العلمي عام ٢٠٠٥ م .
- حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية عام ٢٠٠٦ م .
- حصل على جائزة أبها التقديرية للاسهامات العلمية عام ٢٠٠٧م.
- حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام ٢٠١٣ م .
- حصل على جائزة الاتحاد الامريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام ٢٠١٣ م .
- حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للاسهامات العلمية عام ٢٠١٣ م
- حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة ال ISI
- حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة عام ٢٠١٧ علمية من الناشر الألماني SPRINGER
- حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام ٢٠١٨ من منظمة Who's Who
- حصل على ٨٥ درع تكريمي وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والأمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وامريكا



أ.د. عادل كامل محمد السيد الإمام

أستاذ الجيوفيزياء التطبيقية - كلية العلوم – جامعة المنصوره

دكتوراه في الجيوفيزياء التطبيقيه- عام 2002م

من جامعة ليستر- انجلترا

- مدير برنامج البترول والتعدين، كلية العلوم، جامعة المنصوره.
- مدير وحدة التعليم الإلكتروني بكلية العلوم جامعة المنصوره.
- منسق الجوده لقسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة المنصوره.
- منسق كليه العلوم للتصحيح الإلكتروني، كلية العلوم، جامعة المنصوره.
- نشر 3 مقررات الكترونية بالمجلس الأعلى للجامعات المصريه ووحدة التعليم الإلكتروني بجامعة المنصوره.
- حضور وإلقاء فى العديد من المؤتمرات العلمية المحلية والدولية.
- عضو الجمعية الجيوفيزيقية الدولية (SEG) والمصرية (EGS).
- خبرة فى مجال برمجة الكمبيوتر وأنظمة Unix System.
- نشر اكثر من 30 بحث في مجلات دولية ومحلية.
- الف عدد 2 كتاب علمي في الجيولوجيا والجيوفيزياء .
- اشرف على عديد من الرسائل العلمية ماجستير ودكتوراه .
- شارك في عدد من المشاريع البحثية في كل من مصر والبرازيل وتشاد للبحث عن المياه الجوفية.
- محكم لعديد من الأبحاث الدولية والمحلية وايضا مناقش لعديد من رسائل الماجستير والدكتوراه.


translate
übersetzen
traduire
traducir
tradurre


translate
übersetzen
tradueir
traduire

